



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

**0 143 282** *28 For*  
**A2**

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 84111968.8

(51) Int. Cl.: G 01 J 5/00, G 01 J 3/28

(22) Anmeldetag: 05.10.84

(30) Priorität: 26.11.83 DE 3343043  
19.04.84 DE 3414984

(71) Anmelder: Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt  
für Luft- und Raumfahrt e.V., D-5300 Bonn (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung: 05.06.85  
Patentblatt 85/23

(72) Erfinder: Tank, Volker, Dipl.-Ing., Stegenerstrasse 4,  
D-8088 Echling a.A. (DE)

(84) Benannte Vertragsstaaten: DE FR GB IT NL SE

(74) Vertreter: von Kirschbaum, Albrecht, Dipl.-Ing.,  
Hermann-Ehlers-Strasse 21a, D-8034 Germering (DE)

(54) Verfahren zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes.

(57) Es ist ein Verfahren zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur von Objekten geschaffen. Bei diesem Verfahren nimmt das jeweilige Objekt zwei, drei oder mehr verschiedene Temperaturen an (oder wird auf zwei oder mehr Temperaturen gebracht oder nimmt diese selbst ein), und in vier oder mehr Spektralbereichen im infraroten und/oder sichtbaren Wellenlängenbereich werden jeweils Strahlungsmessungen der vom Objekt ausgehenden Strahlung durchgeführt. Aus diesen Meßwerten werden exakt oder sogar ausgleichend die jeweiligen Objekttemperaturen sowie ebenso alle übrigen unbekannten Größen (spektraler Emissionsgrad des Objekts, Umgebungstemperatur, etc.) bestimmt. Ferner wird bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes, wobei in n Wellenlängenbereichen im Ultravioletten, Sichtbaren und/oder Infraroten Strahldichten oder -stärken erfaßt werden, ein Meßobjekt nacheinander von einer Anzahl Strahlungsquellen bestrahlt. Hierbei wird die von den verschiedenen Strahlungsquellen nacheinander abgegebene Strahlung über eine spezielle Optik auf das Meßobjekt geleitet. Mit Hilfe der bei der nacheinander erfolgenden Strahlung jeweils durchgeführten Spektralmessungen wird ein bestimmtes bzw. ein überbestimmtes Gleichungssystem erhalten, aus welchem

dann neben verschiedenen anderen Werten die Temperatur des Meßobjektes als dessen wahre Temperatur erhalten wird.

EP U 143 282 A2

1

Verfahren zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes

---

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder 15.  
 10 Es kann die Strahlungsmessung der Temperatur von natürlichen oder künstlichen Objekten im infraroten und/oder sichtbaren Spektralbereich erfolgen. Die große Bedeutung einer berührungslosen, emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur von Objekten für die Forschung und  
 15 insbesondere für die Industrie ist hinlänglich bekannt.

Es ist bereits ein Verfahren und eine Vorrichtung zur berührungslosen Strahlungsmessung der Temperatur eines natürlichen oder künstlichen Objektes vorgeschlagen worden.  
 20 Bei diesem Verfahren wird aus einer Reihe von zwei (drei) oder mehr Strahlungsmessungen in begrenzten (besonders ausgewählten) Spektralbereichen die Objekttemperatur, der Emissionsgrad des Objektes und die Umgebungstemperatur (aus der am Objekt reflektierten Umgebungsstrahlung) ausschließlich rechnerisch bestimmt (P 33 21 874.9). Der Nachteil dieses Verfahrens zeigt sich dann, wenn Messungen beispielsweise in n Spektralbereichen durchgeführt werden, da dann n voneinander unabhängige Gleichungen in folgender Form vorliegen:

$$30 \quad L_{M, \lambda_i} = \epsilon_i \cdot L_{T_{Obj}, \lambda_i} + (1 - \epsilon_i) L_{T_{Umg}, \lambda_i} \quad (1)$$

wobei

$L_{M, \lambda_i}$  die gemessene Strahldichte bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist,  
 35  $L_{T_{Obj}, \lambda_i}$  die nach Planck berechnete Strahldichte eines schwarzen Körpers der Temperatur  $T_{Obj}$  bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist,

- 1  $\varepsilon_i$  der Emissionsgrad des Objekts bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist,
- $L_{T_{Umgebung}, \lambda_i}$  die nach Planck berechnete Strahldichte eines schwarzen Körpers der Temperatur  $T_{Umgebung}$  bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist,
- 5  $(1 - \varepsilon_i)$  der Reflexionsgrad des Objekts bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist,
- $T_{Obj}$  die wahre Objekttemperatur und
- $T_{Umgebung}$  die wahre Umgebungstemperatur ist.
- 10

Das bedeutet aber, es gibt unter der Voraussetzung einer homogenen Umgebungstemperatur und einer homogenen Objekttemperatur  $n + 2$  unbekannte Größen, nämlich  $n$  unbekannte spektrale Emissionsgradwerte  $\varepsilon_i$  und die unbekannten Temperaturen  $T_{Obj}$  und  $T_{Umgebung}$ . Nachdem somit in  $n$  Gleichungen  $n + 2$  Unbekannte vorliegen, ist das System so nicht lösbar. Der Nachteil solcher weiterentwickelter Temperaturmeßverfahren ist also darin zu sehen, daß dann vereinfachende Annahmen getroffen werden müssen, die wiederum dazu führen, daß die ermittelten Temperaturen (Objekt- und Umgebungstemperatur) und Emissionsgradwerte nicht exakt sind, und daß darüber hinaus im allgemeinen Meßfehler ebenfalls das oder die Ergebnisse beeinflussen.

20

25 Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur berührungslosen emissionsgradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes derart zu verbessern, daß damit nicht nur ohne vereinfachende Annahmen die Objekttemperatur, spektrale Emissionsgradwerte und die Umgebungstemperatur (oder Umgebungstemperaturen bei einer thermisch inhomogenen Umgebung) exakt ermittelt werden können, sondern daß darüber hinaus auch ein Ausgleich unterschiedlicher Meßfehler bewirkt wird. Gemäß der Erfindung ist diese Aufgabe bei einem Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch

30 die Merkmale im kennzeichnenden T 11 des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen 2 bis 14 angegeben.

35

1 Ferner ist es Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine  
 Vorrichtung zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen  
 Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes zu schaf-  
 fen, mittels welchem bzw. welcher ein bestimmtes oder  
 5 Überbestimmtes Gleichungssystem erhalten werden kann, ohne  
 daß hierzu die Objekttemperatur oder die Umgebungstempla-  
 tur oder andere von der verwendeten Vorrichtung unabhängi-  
 ge Größen geändert werden müssen. Gemäß der Erfindung ist  
 dies bei einem Verfahren zur berührungslosen, emissions-  
 10 gradunabhängigen Strahlungsmessung der Temperatur eines  
 Objektes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 15 durch die  
 Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 15 erreicht.  
 Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfah-  
 rens sind in den Unteransprüchen 16 und 17 angegeben. Ferner  
 15 ist die gestellte Aufgabe mittels einer Vorrichtung zur  
 Durchführung des Verfahrens durch die Merkmale im kenn-  
 zeichnenden Teil des Anspruchs 18 gelöst. Vorteilhafte Wei-  
 terbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den  
 Unteransprüchen 19 bis 21 angegeben.

20

Das Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 14 basiert auf  
 folgenden Gleichungen;

25 
$$L^1_{M, \lambda_i} = r_i \cdot T_i \{ \varepsilon_i \cdot L_{T1_{Obj}, \lambda_i} + (1 - \varepsilon_i) L_{T_{Umg}, \lambda_i} \} \quad (2)$$

$$L^2_{M, \lambda_i} = r_i \cdot T_i \{ \varepsilon_i \cdot L_{T2_{Obj}, \lambda_i} + (1 - \varepsilon_i) L_{T_{Umg}, \lambda_i} \} \quad (3)$$

für  $i = 3, \dots, n$

30 wobei

$L^1_{M, \lambda_i}$  die gemessene Strahldichte bei der Wellenlänge  
 $\lambda_i$  (Zentrumswellenlänge) und der Objekttempe-  
 ratur  $T1$  ist;

35  $L^2_{M, \lambda_i}$  die gemessene Strahldichte bei der Wellenlänge  
 $\lambda_i$  und der Objekttemperatur  $T2$  ist;

$r_i$  die spektrale Empfindlichkeit des Meßgeräts  
 bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist;

- 1  $\tau_i$  die Transmission der Atmosphäre bei der Wellenlänge  $\lambda_i$  ist;  
 $T1_{Obj}$  die Objekttemperatur T1 und  
 $T2_{Obj}$  die Objekttemperatur T2 ist.

5

Hierbei gilt explizit:

$$L_{T1_{Obj}} = \frac{c_1}{\pi \lambda^5} \cdot \frac{1}{\frac{c_2}{\lambda \cdot T1_{Obj}} - 1} \quad (4)$$

10

wobei

- $c_1 = 3,7418 \text{ [W cm}^2 \text{ } \mu\text{m}^4 \text{]}^{-1}$ ;  $c_2 = 1,4388 \text{ [} \mu\text{m K]}$ ;  $\pi = 3,141843$   
 $L_{T1_{Obj}}$  die Strahldichte nach Planck für einen Schwarzen Körper der Temperatur  $T1_{Obj}$ ,  
 $\lambda$  die Wellenlänge [ $\mu\text{m}$ ] und  
 $T1_{Obj}$  die Objekttemperatur T1 [K] ist.

Gl.(4) gilt entsprechend auch für  $T2_{Obj}$ . Die Gleichungen (2) und (3) beschreiben vollständig die Strahldichte, die an natürlichen Objekten gemessen wird, nämlich die Summe aus emittierter Strahlung, die durch die Temperatur und den spektralen Emissionsgrad des Objekts bedingt ist, und aus reflektierter Umgebungsstrahlung (die durch die Umgebungstemperatur und den Reflexionsgrad  $\xi_i = 1 - \epsilon_i$  des Objektes bedingt ist.)

Hat ein interessierendes Objekt die Temperatur  $T1_{Obj}$  und sind beispielsweise nur die Wellenlängen (Zentrumswellenlängen)  $\lambda_i$  des verwendeten Spektralmeßgeräts bekannt ( und ist die Breite aller Spektralbereiche identisch), dann enthält die Gl.(2) für n Spektralbereiche die unbekannten Faktoren:  $T1_{Obj}$ ,  $T_{Umg}$ ,  $r_i$ ,  $\tau_i$  und  $\epsilon_i$ . Es liegen also  $2n + 2$  unbekannte Faktoren vor; dabei wurde vorausgesetzt, daß die Faktoren  $r_i$  (die spektrale Empfindlichkeit des Meßgeräts) und  $\tau_i$  (der Transmissionsgrad der Atmosphäre) nur als Produkt, als

1 welches sie auftauchen, ermittelt werden sollen, und die Kenntnis der einzelnen Faktoren hier nicht interessiert.

Den  $2n + 2$  Unbekannten stehen bei Gl.(2) nur  $n$  Meßwerte gegenüber; eine (exakte) Lösung des Systems ist also nicht  
5 möglich. Ändert nun das Objekt seine Temperatur auf den Wert  $T_{2\text{Obj}}$ , so gilt zusätzlich Gl.(3); damit kommt einerseits eine weitere Unbekannte hinzu, nämlich  $T_{2\text{Obj}}$ , und andererseits kommen aber  $n$  weitere Meßwerte hinzu. Somit stehen  $2n$   
10 Meßwerten  $2n + 3$  Unbekannte gegenüber, so daß auch dieses System nicht exakt lösbar ist. Ändert nun das Objekt seine Temperatur auf den Wert  $T_{3\text{Obj}}$ , so liegen  $2n + 4$  Unbekannte gegenüber  $3n$  Meßwerten vor; d.h. für  $n = 4$  Spektralbereiche (in denen gemessen wird) ist das System mit 12 Meßwerten und  
15 12 Unbekannten bereits exakt lösbar (wobei der Ausdruck exakt unter der Annahme zu verstehen ist, daß die Messungen fehlerfrei sind). Wird in  $n = 5$  Spektralbereichen gemessen, so ist das Gleichungssystem mit 15 Messungen und 14 Unbekannten bereits überbestimmt; die Lösung erfolgt also iterativ  
20 (durch eine Ausgleichsrechnung), wobei durch die Überbestimmung ein Ausgleich von Meßungenauigkeiten bewirkt wird.

Die Differenz der Anzahl der Meßwerte und der Anzahl der Unbekannten  $3n - (2n + 4) = n - 4$  gibt dabei an, wie groß die  
25 Zahl der Meßwerte ist, die zusätzlich zur Zahl der zur Lösung notwendigen Meßwerte zum Ausgleich der Meßungenauigkeiten beiträgt.

Die obigen Ausführungen gelten natürlich nur, wenn zu den  
30 Zeitpunkten der Messungen  $r_i$ ,  $Z_i$  und  $T_{\text{Um}}g$  konstant sind, was bei unverändertem Meßaufbau und unveränderter Umgebung und wenn die Zeiten zwischen den Messungen nicht lang sind, sichergestellt ist, und wenn ferner  $\varepsilon_i$  für  $T_{1\text{Obj}}$ ,  $T_{2\text{Obj}}$  und  $T_{3\text{Obj}}$  jeweils denselben Wert hat, eine Forderung, die in  
35 weiten Temperaturbereichen von den meisten Materialien und Objekten erfüllt wird. Erst im Bereich von hohen Temperaturen (Glut) und bei der Änderung von Aggregatzuständen kommt

1 es zu einer deutlichen Temperaturabhängigkeit des Emissions-  
grades.

Zur Durchführung des Verfahrens wird also die spektrale  
5 Strahldichte des Objekts bei drei verschiedenen Objekttempe-  
raturen z.B. in jeweils  $n = 4$  Spektralbereichen aufgenommen,  
und aus diesen 12 Meßwerten werden die 12 unbekannten Größen  
exakt bestimmt. Ist  $n > 4$ , so liegen  $n - 4$  Meßwerte vor,  
die durch den Ausgleich von Meßungenauigkeiten zur Genauig-  
10 keit der Ergebnisse beitragen.

Natürlich ist es möglich, das verwendete Spektrometer in be-  
kannter Art zu eichen, d.h. seine spektralen Empfindlich-  
keitswerte  $r_i$  (mit Hilfe von Eichstrahlern, d.h. schwarzen  
15 Körpern) zu ermitteln und zusätzlich seine Spektralbereiche  
so auszuwählen, daß sie in Bereichen hoher atmosphärischer  
Transmissionsgrade  $\tau_i$  liegen, so daß  $\tau_i = 1$  gesetzt werden  
kann. (Solche Bereiche lassen sich in bekannter Weise durch  
Messung oder Modellrechnung - beispielsweise mit Hilfe der  
20 "LOWTRAN"- und "HITRAN"-Modelle - für jede Meßentfernung er-  
mitteln.) Es wird damit die Zahl der unbekannten Größen auf  
 $n + 2$  verringert, so daß durch Messungen bei zwei (2) Tempe-  
raturen des Objekts, welche zu  $2n$  Meßwerten führen, für  $n = 2$   
bereits 4 Unbekannte und 4 Meßwerte vorliegen und somit eine  
25 Lösung möglich ist, und für  $n > 2$  jeweils  $n - 2$  Meßwerte  
einen Ausgleich bewirken.

Natürlich können noch weitere unbekannte Größen eingeführt  
werden, wie z.B. in thermisch inhomogener Umgebung verschie-  
30 dene Umgebungstemperaturen etc., welche bei einer entspre-  
chend großen Anzahl  $n$  der Spektralbereiche und einer entspre-  
chenden Anzahl verschiedener Objekttemperaturen exakt oder  
sogar ausgleichend ermittelt werden können.

35 Ebenso ist es möglich, alle einmal gewonnenen Erkenntnisse  
in folgenden Meßschritten zu nutzen; ist beispielsweise der  
Temperaturbereich  $g$  funden, in dem der Emissionsgrad tempe-

1 raturunabhängig ist, so kann der einmal ermittelte spektrale  
Emissionsgrad  $\epsilon_i$  bei den folgenden Messungen als bekannt  
verwendet werden. Das heißt, solange die Objekttemperatur in  
dem bestimmten Bereich liegt, kann jede Spektralmessung bei  
5 nur einer Temperatur des Objekts bereits ausgleichend zur  
Bestimmung der Objekttemperatur und der Umgebungstemperatur  
verwendet werden; dies gilt entsprechend auch für die spek-  
trale Empfindlichkeit  $r_i$  des Spektrometers und den Transmis-  
sionsgrad  $\tau_i$  der Atmosphäre (welche beide natürlich tempe-  
10 raturunabhängig sind). Sind beispielsweise diese Größen ( $\epsilon_i$ ,  
 $\tau_i \cdot r_i$ ) mit  $n = 4$  und aus  $3n = 12$  Meßwerten ermittelt, ge-  
nügen in den weiteren Schritten  $n = 4$  Meßwerte zur ausglei-  
chenden Bestimmung der zwei Unbekannten  $T_{Obj}$  und  $T_{Umg}$ . Es  
ist also für sehr viele Anwendungen möglich, das Meßobjekt  
15 nur einmal oder nur in größeren Zeitabständen zu Kontroll-  
zwecken bei mehreren Temperaturen, was auch durch künstliche  
Heizung erreichbar ist, zu vermessen und die daraus gewonne-  
nen Größen beispielsweise für Überwachungen in längeren  
Zeiträumen zu verwenden.

20

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es also nicht nur  
möglich, die Temperatur eines Objektes exakt zu ermitteln,  
sondern es können auch sein spektraler Emissionsgrad und die  
Temperatur der Umgebung (oder die Temperaturen thermisch in-  
25 homogener Umgebung) ermittelt werden. Ein ganz besonderer  
Vorteil ist dabei, daß außerdem aus der Strahlungsmessung  
des Objektes - also ohne eine gesonderte Eichung - auch der  
Einfluß der spektralen Empfindlichkeit des Meßgeräts und der  
Atmosphäre bestimmt wird. Das Verfahren ist also "selbstka-  
30 librierend" und ein Driften der spektralen Empfindlichkeit  
des Meßgeräts verfälscht die Meßergebnisse nicht; damit ist  
eine Eichung und Nacheichung des Meßgeräts nicht erforder-  
lich, was ein unschätzbarer Vorteil für routinemäßig ver-  
wendete Meßgeräte ist.

35

Ein weiterer besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen, vor-  
stehend beschriebenen Verfahrens besteht darin, daß bei



- 1 einer entsprechend hohen Anzahl der Spektralbereiche und/  
oder der Objekttemperaturen die Meßergebnisse ausgleichend  
ermittelt, d.h. Meßungenauigkeiten ausgeglichen werden.
- 5 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsge-  
mäßen Vorrichtung weist diese  $m$  ( $m \geq 1$ ) Strahlungsquel-  
len auf, die beispielsweise für Messungen im infraroten  
Bereich auf  $m$  verschiedene Temperaturen aufgeheizt werden  
und dadurch  $m$  verschiedene Intensitäten haben. Mit Hilfe  
10 einer entsprechenden Optik und Mechanik wird die Strah-  
lung einer jeden der  $m$  Strahlungsquellen nacheinander auf  
das Objekt, dessen Temperatur zu bestimmen ist, gelenkt,  
und zwar zweckmäßigerweise so, daß diese Strahlung sowohl  
den Winkelbereich des verwendeten Spektrometers als auch  
15 dessen auf dem Objekt überdeckte Fläche vollständig aus-  
leuchtet. Anders ausgedrückt bedeutet dies, daß der Raum-  
winkel der erfindungsgemäßen Vorrichtung gleich dem oder  
größer als der des Spektrometers ist.
- 20 Selbstverständlich sind die Strahlungsquellen den Spek-  
tralbereichen der Messung anzupassen, d.h. im Infraroten  
werden Schwarzkörper, beispielsweise Hohlraumstrahler ver-  
wendet, die im Übrigen auch im sichtbaren Bereich verwen-  
25 det werden können; darüber hinaus können beispielsweise  
auch Wolframbandlampen oder Quarzhalogenlampen usw. ver-  
wendet werden. Im Ultraviolett kommen beispielsweise  
u.a. Bogenlampen zur Anwendung. Für alle Spektralbereiche  
eignen sich jedoch besonders entsprechende Laser bzw. La-  
30 serdioden, wie nachstehend noch im einzelnen erläutert  
wird.

Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die an-  
liegenden Zeichnungen im einzelnen näher erläutert. Es zei-  
35 gen:

- 1 Fig.1 und 2 graphische Darstellungen des Transmissionsgrades der Atmosphäre in Abhängigkeit von der Wellenlänge für Weglängen von 1 m bzw. 3 m, die mit dem Modell "Lowtran 5" unter Verwendung des Modells "Sommer in mittlerer Breite" bei einer spektralen Auflösung von  $5\text{cm}^{-1}$  in einer Höhe von 0,5km bei einer Sichtweite von 23km berechnet sind;
- 5
- 10 Fig.3 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 14;
- Fig. 4 schematisch eine ausführliche Darstellung beispielsweise einer Strahlungsmessung, wobei die wichtigsten Strahlungsteile angegeben sind;
- 15
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 15 bis 17 mit m Strahlungsquellen;
- 20
- Fig. 6 eine schematische Darstellung einer fokussierbaren Optik aus einem Strahlteiler mit nachgeordnetem Teleskop, und
- 25
- Fig. 7 eine weitere schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 15 bis 17 mit n Strahlungsquellen in Form von Laserdioden.
- 30

Der Transmissionsgrad der Atmosphäre in Fig.1 und 2 ist für einen Wellenlängenbereich von  $1\mu\text{m}$  bis  $15\mu\text{m}$  dargestellt. Das Verfahren gemäß der Erfindung ist selbstverständlich nicht auf diesen Wellenlängenbereich beschränkt, sondern vom ul-

35

1   travioletten Spektralbereich kontinuierlich bis zum sehr  
  langwelligen Infrarotbereich, also bis in den Bereich der  
  Millimeterwellen anwendbar. Der in den Fig.1 und 2 darge-  
  stellte Bereich, einschließlich des nicht sichtbaren Spek-  
5   tralbereichs ist allerdings besonders gut zur Durchführung  
  des Verfahrens bei den üblicherweise vorkommenden, natürli-  
  chen und künstlich erzeugten Temperaturen der Umwelt ein-  
  schließlich industrieller Prozesse geeignet. Natürlich ist  
  für Weglängen von 1m bis 3m im sichtbaren Spektralbereich  
10   der Transmissionsgrad der Atmosphäre gleich eins ( $\tau_i = 1$ ).

  Zur Durchführung des Verfahrens gemäß der Erfindung werden  
  u.a. aus Energiegründen (Strahlungsenergie) Spektralbereiche  
  ausgewählt, in denen der Transmissionsgrad der Atmosphäre  
15   nahe an eins ( $\tau_i = 1$ ) ist; wie aber aus den Fig.1 und 2  
  ersichtlich, ist durchaus der gesamte dort dargestellte Be-  
  reich geeignet. Für größere Weglängen wird der Transmissions-  
  grad der Atmosphäre in bestimmten Bereichen (z.B. etwa von  
  2,6 $\mu$ m bis 2,8 $\mu$ m oder etwa von 5,5 $\mu$ m bis 7,3 $\mu$ m, etc.) gleich  
20   null ( $\tau_i = 0$ ); eine Messung in solchen Bereichen ist dann  
  natürlich nicht mehr sinnvoll; das Verfahren führt aber auch  
  mit solchen Meßwerten noch zu einem Ergebnis, wenn neben  
  diesen Meßwerten noch genügend andere vorhanden sind, in de-  
  nen Strahlung vom Objekt zum Meßgerät gelangt, solange die  
25   Anzahl der Unbekannten gleich der oder kleiner als die An-  
  zahl der Meßwerte (die noch Strahlungsenergie enthalten) ist.

  Bei dem in Fig.3 dargestellten Ausführungsbeispiel wird die  
  von einem Objekt O ausgehende Strahlung von einem Teleskop T  
30   eines Interferometerspektrometers IFS (eines Interferome-  
  ters nach Michelson) gesammelt und über eine Kollimatorlinse  
  KL in das Interferometer gelenkt. In dem Interferometer IFS  
  wird in bekannter Weise mittels eines Strahlteilers ST,  
  eines festen Spiegels  $S_1$  und eines beweglichen Spiegels  $S_2$   
35   sowie einer Feldlinse FL unter Einbeziehung eines Detektors  
  DO ein Interferogramm der einfallenden Strahlung erzeugt.  
  Das Interferogramm wird in Form eines elektrischen Signals

1 in einem elektrischen Verstärker V verstärkt und von einem  
Analog-Digitalwandler digitalisiert, und zwar mit Hilfe  
eines Wandlertraktes, der in bekannter Weise unter Zuhilfenahme  
eines weiteren festen Spiegels  $RS_1$ , eines weiteren  
5 Strahlteilers RST eines Referenzinterferometers, eines weiteren  
Detektors DL des Referenzinterferometers und eines  
Ausgangsverstärkers RV aus den in dem Referenzinterferometer  
zur Positionsmessung des Spiegels  $S_2$  verwendeten Laserlichts  
eines Lasers L (beispielsweise eines HeNe-Lasers) ge-  
10 wonnen wird.

Die digitalisierten Meßwerte (Interferogrammwerte) werden  
entweder unmittelbar in einem Mikrorechner durch eine mathematische  
Fouriertransformation in das Spektrum der eingefal-  
15 lenen Strahlung umgerechnet und dann als Spektrum in einem  
dem Mikrorechner zugeordneten Digitalspeicher abgespeichert,  
oder erst auf diesem Speicher abgelegt und später transformiert.  
Gleichartige Messungen erfolgen nach Änderung der Objekttemperatur  
oder der Umgebungstemperatur, o.ä.. Nach der  
20 Berechnung aller entsprechenden Spektren, die in Abhängigkeit  
von der spektralen Auflösungskraft des Interferometers  
je eine Anzahl von einigen zehn bis zu mehreren zehntausend  
oder mehr spektralen Meßwerten enthalten, wird aus allen  
Spektralwerten und/oder aus einer größeren oder kleineren  
25 Zahl ausgewählter Werte und/oder aus verschiedenen Gruppen  
ausgewählter Werte das Gleichungssystem  
gebildet und gelöst oder ausgleichend gelöst. Alle ermittelten  
Werte oder einzelne, wie beispielsweise nur die Objekttemperat-  
uren, können dann mit Hilfe eines Anzeigegeräts an-  
30 gezeigt werden.

Der Mikrorechner verfügt über eine Befehlseingabeeinheit,  
über die alle das Verfahren betreffenden Befehle in bekannter  
Weise flexibel aufgerufen, verknüpft, gestartet, etc.  
35 werden können (beispielsweise Datenaufnahme vom Interferometerspektrometer,  
Fouriertransformation, Aufstellung und Lösung des Gleichungssystems etc.).

1 In Abwandlung der Ausführungsform nach Fig. 3 ist es auch  
 möglich, andere Spektralradiometer zu verwenden (beispiels-  
 weise Filtrerradiometer). Grundsätzlich kann dabei eine be-  
 liebig Anzahl von Spektralbereichen unter der Bedingung  
 5 verwendet werden, daß das Gleichungssystem lösbar ist. Die  
 Speicherung, Verarbeitung und Ausgabe der Meßwerte und der  
 Ergebnisse kann auf verschiedenen Medien und Rechnern durch-  
 geführt werden. Da im allgemeinen eine möglichst geringe An-  
 zahl von Meßwerten erforderlich sein soll, ist zur Datener-  
 10 fassung und Berechnung der Ergebnisse ein Mikrorechner aus-  
 reichend, so daß die beschriebene Vorrichtung zur Durchfüh-  
 rung des Verfahrens auch bei Verwendung einfacher,  
 fortschrittlicher (bisher recht aufwendiger) Interferometer-  
 spektrometer als transportables Gerät gestaltet werden kann,  
 15 das breite und wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten er-  
 öffnet.

Fig.4 zeigt schematisch in ausführlicher Darstellung bei-  
 spielhaft eine Strahlungsmessung, wobei die wichtigsten auf-  
 20 tretenden Strahlungsteile wiedergegeben sind. Hierbei bedeu-  
 ten in Fig.4:

$\nu$	die Wellenzahl $[\text{cm}^{-1}]$ (inverse Wellenlänge), bezüglich der Umgebung des Objekts:	
25 $L_u$	die Strahldichte der Umgebung als eine Funktion von $\nu$ und:	
$T_u$	die Umgebungstemperatur	
$\epsilon_u$	der (die) Emissionsgrad(e) der Umgebung (die selbst eine Funktion von $\nu$ sind)	
30	bezüglich des Objekts:	
$L_K$	die Strahldichte des Objekts, als Funktion von und:	
$T_K$	die Objekttemperatur	
35 $\epsilon_K$	den Emissionsgrad	} des Objekts, die jeweils Funktionen von $\nu$ sind;
$\rho_K$	den Reflexionsgrad und	
$\tau_K$	den Transmissionsgrad	

- 1 bezüglich der Atmosphäre:
- |                 |                       |   |   |
|-----------------|-----------------------|---|---|
| $\tau_{At}$     | den Transmissionsgrad | } | der Atmosphäre, die<br>jeweils Funktionen von $\nu$<br>sind |
| $\epsilon_{At}$ | den Emissionsgrad     |   |   |
| $\rho_{At}$     | den Reflexionsgrad    |   |   |
- 5
- $L_{AtEM}$  die Strahldichte der von der Atmosphäre emittierten Strahlung, die Funktion der Atmosphärentemperatur, von  $\nu$  und von  $\epsilon_{At}$  ist;
- $L_{AtSu}$  die Strahldichte der an der Atmosphäre gestreuten Strahlung von Objekten der Umgebung (der Atmosphäre)
- 10
- bezüglich der Umgebung der Atmosphäre (anders als die des Objekts):
- $L_{uAt}$  die Strahldichte der Umgebung der Atmosphäre, die Funktion von  $\nu$  ist und:
- 15
- $T_{uAt}$  die Temperatur der Umgebung der Atmosphäre und
- $\epsilon_{uAt}$  den Emissionsgrad der (Objekte) der Umgebung der Atmosphäre
- 20
- bezüglich des Meßgerätes:
- $L_{SE}$  die Strahldichte des Meßgeräts (Strahlungsempfängers), die eine Funktion von  $\nu$  ist und:
- $T_E$  die Temperatur des Meßgeräts
- $\epsilon_E$  den Emissionsgrad der inneren Oberflächen des Meßgeräts;
- 25
- ferner:
- |              |                       |   |  |
|--------------|-----------------------|---|--|
| $\epsilon_E$ | den Emissionsgrad     | } | der inneren Komponenten des Meßgerätes |
| $\tau_E$     | den Transmissionsgrad |   |  |
- 30  $R(\nu)$  die spektrale Empfindlichkeit des Meßgeräts als Funktion der Wellenzahl  $\nu$ , wobei die Empfindlichkeit dem  $r_i$  in den vorherigen Gleichungen (dort als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$ ) entspricht und
- $U_E(\nu)$  das aus der empfangenen Strahlung vom Detektor erzeugte elektrische Signal des Meßgeräts, das eine Funktion von  $\nu$  ist.--
- 35

1 In Fig.4 sind die Teile "Objekt, Umgebung, Atmosphäre, Meß-  
gerät" unterschieden, und es ist angegeben, welche Strah-  
lungsanteile wo auftreten, bzw. wie sie verändert werden;  
dazu sind kleine Koordinatensysteme an vier Orten auf dem  
5 Weg der Strahlung eingezeichnet, welche qualitative Spek-  
tren enthalten, die andeuten, wie die spektrale Charakte-  
ristik der Objektstrahlung vom Ort des Objektes (wo das  
Planck'sche Gesetz charakterisierend ist, für  $\epsilon_K(\nu) =$   
const.) durch die Einflüsse von Umgebung, Atmosphäre und  
10 Meßgerät fortlaufend verändert wird.

Das Objekt wird durch seine Temperatur und seinen spektra-  
len Emissions-, Reflexions- und Transmissionsgrad beschrie-  
ben; entsprechende Größen beschreiben auch die Umgebung, wo-  
15 bei Objekt und Umgebung hier der Einfachheit halber hinsicht-  
lich der sie beschreibenden Größen als räumlich homogen an-  
gesehen werden (wodurch der Transmissionsgrad des Objektes  
null gesetzt wird). Es wird also  $\epsilon_K + \rho_K = 1$ , d.h., ist ge-  
gebenenfalls  $\tau_K \neq 0$ , so wird angenommen, daß die Umgebungs-  
20 strahlung das Objekt entsprechend  $\tau_K$  von allen Seiten, also  
auch von der Rückseite, durchdringt. Die vom Objekt ausge-  
hende Strahlung ist daher die Summe von Objektstrahlung und  
reflektierter Umgebungsstrahlung. Auf dem Weg durch die At-  
mosphäre werden beide Anteile durch den spektralen Transmis-  
25 sionsgrad der Atmosphäre (multiplikativ) verändert und  
(additiv) erweitert durch die von der Atmosphäre selbst  
emittierte Strahlung und die an der Atmosphäre gestreute Um-  
gebungsstrahlung (wobei diese Umgebung zumindest für lange  
Wege durch die Atmosphäre eine andere ist als die Umgebung  
30 des Objektes). Auf dem Weg durch das Meßgerät (von der Op-  
tik zum Detektor) überlagern sich (additiv) weitere Strah-  
lungsanteile der empfangenen Strahlung, nämlich die von den  
inneren Komponenten und Oberflächen des Meßgeräts emittier-  
te Strahlung. Darüber hinaus wird die Strahlung (multipli-  
35 kativ) von Komponenten, wie Filtern, Linsen, Spiegelober-  
flächen etc. des Meßgeräts, sowie von der spektralen Emp-  
findlichkeit des Detektors beeinflusst (falls diese nicht

- 1 konstant im Meßbereich ist). Diese multiplikativen Einflüsse werden im Faktor  $R(\nu)$  (bzw.  $r_i$ ), der spektralen Empfindlichkeit des Meßgeräts zusammengefaßt, während alle Strahlungsanteile, die vom Meßgerät stammen, zur (Eigenstrahlung)
- 5 Strahldichte  $L_{SE}$  zusammengefaßt werden.

Alle hier beschriebenen Größen sind zunächst unbekannt; sie lassen sich aber alle bestimmen, indem entsprechend dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 14 in genügend großer Zahl von Wellenlängenbereichen und bei genügend vielen verschiedenen Temperaturen des Objekts oder der Umgebung, etc. Strahlungsmessungen durchführt, so daß ein bestimmtes oder überbestimmtes Gleichungssystem erhalten wird. Ist man allerdings, wie im vorliegenden Fall, hauptsächlich an der Bestimmung der Temperatur des Objekts interessiert, so ist es natürlich zweckmäßig, durch entsprechende Auslegung des Meßgerätes und der Meßanordnung möglichst viele Größen (an denen man nicht interessiert ist) vernachlässigbar zu machen.

- 20 Wird beispielsweise das Meßgerät als Interferometerspektrometer nur mit spiegelnder Optik ausgeführt und die Temperatur des ganzen Gerätes stabilisiert, so gilt in guter Näherung die Zusammenfassung der Geräteeigenstrahlung zu einer Strahldichte  $L_{SE}$  gegeben durch die Temperatur  $T_E$  des
- 25 Gerätes. Der Emissionsgrad  $\epsilon_E$  der inneren Oberflächen des Gerätes wird durch eine weitgehende Verwendung gleicher Materialien einheitlich gehalten. Wenn es die Meßaufgabe erlaubt, wird ein Detektor mit einer wellenlängenunabhängigen Empfindlichkeit verwendet. Zweckmäßig werden die Wellenlängenbereiche der Messung so ausgewählt, daß in ihnen die
- 30 Transmission der Atmosphäre zu  $\tau_{At} = 1$  gesetzt werden kann. Darüber hinaus wird der (additive) Anteil der Strahlungsanteile der Atmosphäre  $L_{AtSu}$  und  $L_{AtEM}$  vernachlässigbar, indem der Weg zwischen Meßgerät und Objekt kurz gehalten wird.
- 35 Gegebenenfalls wird durch entsprechende Abschirmungen (z.B. durch einen Tubus am Meßgerät, der nahe ans Objekt reicht) eine homogene Umgebungsstrahlung erreicht, so daß also nur eine Umgebungstemperatur zugrunde gelegt werden muß.



- 1 Bei Messung in  $n$  Wellenlängenbereichen und bei  $m$  verschiedenen Objekttemperaturen sind dann unbekannt:

- $m \times T_{\text{Obj}}$  die Objekttemperatur  
 5  $n \times \epsilon_i$  der spektrale Emissionsgrad des Objektes  
 $1 \times T_{\text{Umg}}$  die Umgebungstemperatur  
 $1 \times T_M$  die Temperatur des Meßgeräts (innen)  
 $1 \times r_i = \text{const}$  die spektrale Empfindlichkeit des Meßgeräts

- 10 also  $n+m+3$  unbekannte Größen stehen  $n \cdot m$  Meßwerten gegenüber. Für  $m = 2$  Objekttemperaturen und  $n = 5$  Wellenlängenbereiche ist also schon eine selbstkalibrierende Messung möglich. Natürlich ist generell eine Vergrößerung der Anzahl  $m$  der Objekttemperaturen wirkungsvoller als die Verwendung von  
 15 mehr Wellenlängenbereichen. Unter der Voraussetzung, daß  $r_i \neq \text{const}$ , also wellenlängenabhängig ist, hat man  $n$  unbekannte Werte von  $r_i$ , also es liegen  $2n+m+2$  Unbekannte gegenüber  $n \cdot m$  Meßwerten vor und mit  $m = 3$  und  $n = 5$  ist das Gleichungssystem bestimmt.

20

Für diese Beispiele ist der Emissionsgrad der inneren Oberflächen des Meßgeräts zu  $\epsilon_E = \text{const} = 1$  angenommen worden.

Es gelten dann folgende Gleichungen:

25

$$L^1_{M, \lambda_i} = r_i \{ \epsilon_i \cdot L_{T1_{\text{Obj}}, \lambda_i} + (1 - \epsilon_i) L_{T_{\text{Umg}}, \lambda_i} + L_{T_E, \lambda_i} \} \quad (5)$$

30

$$L^2_{M, \lambda_i} = r_i \{ \epsilon_i \cdot L_{T1_{\text{Obj}}, \lambda_i} + (1 - \epsilon_i) L_{T_{\text{Umg}}, \lambda_i} + L_{T_E, \lambda_i} \} \quad (6)$$

35

$$\begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}$$

- 1 Die verschiedenen Strahlungsanteile (in obigen Ausführungen)  
haben natürlich in den verschiedenen Wellenlängenbereichen  
unterschiedliche Bedeutung; so wird beispielsweise die  
Eigenstrahlung des Geräts im Sichtbaren meist zu vernach-  
5 lässigen sein; (ähnliches gilt für die Emissions- etc. -gra-  
de). Die Erläuterungen haben allgemeine Gültigkeit, sind  
aber besonders auf den für die technische Realisierung wohl  
wichtigsten Infrarotstrahlungsbereich abgestimmt.
- 10 Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist auch noch eine wei-  
tere Anwendung durchführbar, die allerdings im allgemeinen  
in der Praxis eine untergeordnete Bedeutung hat:  
Liegen Messungen bei  $m$  Objekttemperaturen in je  $n$  Spektral-  
bereichen vor und sind außer diesen Meßwerten sonst keine  
15 Informationen vorhanden, insbesondere auch nicht darüber,  
bei welchen  $n$  Wellenlängen (Spektralbereichen) die Messungen  
durchgeführt wurden (außer der Tatsache, daß ihre Lage unge-  
fähr bekannt sein sollte, beispielsweise im Sichtbaren oder  
im Bereich 3 bis 5  $\mu\text{m}$  oder im Bereich 8 bis 14  $\mu\text{m}$ ), so kön-  
20 nen alle unbekannten Größen, insbesondere auch die Spektral-  
bereiche (Wellenlängen) der Messungen errechnet oder aus-  
gleichend errechnet werden.

Sind beispielsweise:

25

- $n$  Spektralbereiche der Messungen
- $n$  Werte des spektralen Emissionsgrades des Objektes
- $n$  Werte  $r_i \cdot \tau_i$  (Produkt von spektraler Empfindlichkeit  
des Meßgeräts und der spektralen Transmission der At-  
30 mosphäre)

$m$  Objekttemperaturen

eine Umgebungstemperatur und...

eine Temperatur des Meßgeräts unbekannt,

dann liegen  $3n+m+2$  Unbekannte gegenüber wieder  $n \cdot m$  Meßwerten

- 35 vor. Dann ist beispielsweise für  $n = 6$  und  $m = 4$  das Gleichungssystem lösbar; für  $n = 6$  und  $m = 5$  ist es bereits (um  
5 Meßwerte) überbestimmt.

1 Bei der Vorrichtung nach Fig. 4 zur Durchführung des Verfah-  
rens nach den Ansprüchen 15 bis 17 sind beispielsweise für  
Messungen im Infraroten  $m$  Strahlungsquellen beispielsweise  
in Form von Schwarzkörpern  $Q_1$  bis  $Q_m$  vorgesehen, welche in  
5 einem nicht näher dargestellten Gehäuse eines Spektrometers  
untergebracht sind. Hierbei ist in Fig. 5 als Spektrometer  
wieder ein Interferometer-Spektrometer IFS, wie in Fig. 3  
dargestellt. Die  $m$  Strahlungsquellen in Form von Schwarz-  
körpern  $Q_1$  bis  $Q_m$  können mittels einer bekannten, nicht  
10 näher dargestellten Mechanik nacheinander in eine solche  
Lage gebracht werden, daß die von einer in die richtige  
Lage gebrachten Strahlungsquelle abgegebene Strahlung auf  
einen Strahlteiler QST fällt, oder sie kann auch mit Hilfe  
von Umlenkspiegeln bei fest angeordneten Strahlungsquellen  
15 auf den Strahlteiler QST gelenkt werden.

Der Strahlteiler QST arbeitet hierbei in bekannter Weise  
als halbdurchlässiger Spiegel, d.h. er reflektiert also  
die Hälfte der von der jeweiligen Strahlungsquelle  $Q$  auf  
20 ihn treffenden Strahlung über das ihm nachgeordnetes Tele-  
skop  $T$  auf ein zu messendes Objekt  $O$ , während die andere  
Hälfte der von der jeweiligen Quelle  $Q$  abgegebene Strah-  
lung den Strahlteiler QST passiert bzw. von diesem durch-  
gelassen wird. (Durch einen nicht dargestellten Planspie-  
25 gel, welcher gegenüber den Quellen  $Q_1$  bis  $Q_m$ , d.h. auf der  
anderen Seite des Strahlteilers angeordnet ist, könnte der  
von dem Strahlteiler durchgelassene Strahlungsanteil wie-  
derum über den Strahlteiler QST zur Hälfte in das Interfe-  
rometer-Spektrometer IFS und zur Hälfte zurück in die je-  
30 weilige Quelle gelenkt werden. Dadurch käme dann eine de-  
finierte Strahlung von der "Rückseite" des Strahlteilers  
QST in das Spektrometer, welche wiederum in dem Gleichungs-  
system zu berücksichtigen wäre.)

35 Die von dem Objekt  $O$  selbst ausgehende Strahlung sowie  
der von dem Objekt  $O$  reflektierte Strahlungsanteil der je-  
weils in Gegenüberlage von dem Strahlteiler angeordneten

1 Strahlungsquelle Q1 bis Qm werden dann von dem Teleskop T  
des Interferometers IFS gesammelt und über den Strahltei-  
ler QST sowie die Kollimatorlinse KL in das Interferometer  
gelenkt. In dem Interferometer IFS wird in bekannter Weise  
5 mittels des Strahlteilers ST, des festen Spiegels S1 und  
des beweglichen Spiegels S2 sowie der Feldlinse FL mit  
Hilfe des Detektors DO ein Interferogramm der einfallenden  
Strahlung erzeugt.

10 Das Interferogramm wird in der gleichen Weise, wie in Ver-  
bindung mit Fig. 1 beschrieben, verarbeitet. Alle ermittel-  
ten Werte oder einzelne Werte, wie beispielsweise die Ob-  
jekttemperatur, können dann mit Hilfe des Anzeigegeräts  
angezeigt werden.

15

Bei der in Fig. 5 dargestellten Vorrichtung gemäß der Erfin-  
dung sind  $m$  ( $m \geq 1$ ) Strahlungsquellen Q1 bis Qm vorgesehen,  
die beispielsweise bei Messungen im infraroten Bereich auf  $m$   
verschiedene Temperaturen  $T_{Q1}$  bis  $T_{Qm}$  aufgeheizt werden, und  
20 damit  $m$  verschiedene Intensitäten haben. Mit Hilfe des Strahl-  
teilers QST und der bekannten, bereits erwähnten Mechanik, mit  
welcher entweder die  $m$  Strahlungsquellen in Form von Schwarz-  
körpern Q1 bis Qm vor den Strahlteiler QST bewirgt werden oder  
aber auch die von den Schwarzkörpern Q1 bis Qm abgegebene Strahlung  
25 nacheinander über entsprechende, mechanisch gesteuerte Umlenkspiegel  
auf den Strahlteiler QST gelenkt wird, wird dann die  
Strahlung eines jeden Strahlers Q1 bis Qm über das Tele-  
skop T auf das Objekt O gelenkt, dessen Temperatur zu be-  
stimmen ist. Hierbei sind die Strahlungsquellen den Spek-  
30 tralbereichen der Messung anzupassen, so daß beispielswei-  
se, wie vorstehend ausgeführt, im Infraroten, aber auch im  
Sichtbaren Schwarzkörper in Form von Hohlraumstrahlern  
verwendet werden, während im Ultravioletten beispielswei-  
se Bogenlampen angewendet werden können.

35

Bei einer Bestrahlung mit jedem der  $m$ -Strahler wird dann  
eine Spektralmessung durchgeführt, wodurch dann das nach-  
stehend angeführte System von  $(m+1) \cdot n$  Gleichungen erhal-

1 ten wird. Hierbei ist mit  $n$  die Anzahl der verwendeten  
Spektralbereiche des Spektrometers bezeichnet. (Die Eigen-  
strahlung des Meßgeräts ist als vernachlässigbar angenom-  
men, könnte aber auch berücksichtigt werden).

5 Die  $(m+1)$  Gleichungen lauten:

$$L^1_{M,\lambda_1} = t_{QST_1} \cdot r_1 \cdot \tau_1 (\epsilon_1 \cdot L_{T_{Obj},\lambda_1} + (1-\epsilon_1) (L_{T_{Umg},\lambda_1} + r_{QST_1} \cdot \Omega_Q \cdot L_{T_{Q1},\lambda_1})) \quad (7)$$

10  $L^2_{M,\lambda_1} = t_{QST_1} \cdot r_1 \cdot \tau_1 (\epsilon_1 \cdot L_{T_{Obj},\lambda_1} + (1-\epsilon_1) (L_{T_{Umg},\lambda_1} + r_{QST_1} \cdot \Omega_Q \cdot L_{T_{Q2},\lambda_1})) \quad (8)$

15  $L^m_{M,\lambda_1} = t_{QST_1} \cdot r_1 \cdot \tau_1 (\epsilon_1 \cdot L_{T_{Obj},\lambda_1} + (1-\epsilon_1) (L_{T_{Umg},\lambda_1} + r_{QST_1} \cdot \Omega_Q \cdot L_{T_{Qm},\lambda_1})) \quad (9)$

20  $L^{(m+1)}_{M,\lambda_1} = r_1 \cdot \tau_1 (\epsilon_1 \cdot L_{T_{Obj},\lambda_1} + (1-\epsilon_1) \cdot L_{T_{Umg},\lambda_1}) \quad (10)$

wobei  $\Omega_Q$  der Geometrie- und Korrekturfaktor der bestrah-  
lenden Quelle  $Q$ ,  $r_{QST_1}$  bzw.  $t_{QST_1}$  ein spektraler Refle-  
xions- bzw. Transmissionsgrad eines Strahlteilers der  
Fig. , und  $L^1_{M,\lambda_1} \dots L^m_{M,\lambda_1}$  das Detektorsignal ist.

25 Da auch die Meßwerte des Objektes  $O$  ohne eine zusätzliche  
Bestrahlung in den Gleichungen 7 bis 10 verwendet werden kön-  
nen, ist es notwendig, um bei Verwendung von  $m$  Strahlern  
 $(m+1) \cdot n$  Gleichungen zu gewinnen, daß eine Messung ohne Be-  
30 strahlung durchgeführt wird (siehe vorstehende Gl.(10)). Im  
allgemeinen genügt es, für diese Messung (ohne eine der  
zusätzlichen Strahlungsquellen) diese zusätzlichen Strah-  
lungsquellen abzuschalten bzw. auszublenden. Bei Messungen  
im Infraroten ist es insbesondere bei dem Ausführungsbei-  
35 spiel der Fig. 5 erforderlich, auch den Strahlteiler  $QST$   
aus dem Strahlengang zu klappen, wodurch  $n$  weitere Unbe-  
kannte hinzukommen, da aus  $t_{QST_1} \cdot r_1 \cdot \tau_1$  das Produkt

1  $r_1 \cdot Z_1$  wird. Diese weiteren n Messungen bringen bei Mes-  
sungen mit dem Ausführungsbeispiel der Fig.5 im Infraroten  
daher keinen weiteren Vorteil.

5 Ist die erfindungsgemäße Vorrichtung derart einfach aufge-  
baut, daß nur sichergestellt ist, daß die Temperaturen  
 $T_{Q1}$  bis  $T_{Qm}$  der Anzahl Strahlungsquellen  $Q1$  bis  $Qm$  unter-  
schiedlich sind, ihre genaue Größe jedoch nicht gemessen  
oder angezeigt wird, und sind ferner die Größen  $\Omega_Q$  und  
10  $r_{QST_i}$  und  $t_{QST_i}$  nicht exakt bekannt, so enthält das vor-  
stehend wiedergegebene Gleichungssystem folgende Unbekann-  
ten:

$$\begin{aligned} & m \times T_Q \\ 15 \quad & n \times \epsilon_1 \\ & n \times t_{QST_i} \cdot r_1 \cdot \tau_1 \\ & n \times r_{QST_i} \cdot \Omega_Q \\ 20 \quad & 1 \times T_{Obj} \\ & 1 \times T_{Umg} \\ & n \times r_1 \cdot \tau_1 \quad \text{(falls ein Herausklappen des Strahltei-} \\ & \quad \text{lers QST notwendig ist).} \end{aligned}$$

25

Ferner sollen nachstehend die mit "Geometrie- und Korrek-  
turfaktor  $\Omega_Q$ " bezeichnete Größe und die mit "spektrale  
Empfindlichkeit  $r_1$ " bezeichnete Größe in den Gln.(7) bis  
30 (10) gesondert betrachtet werden, da in diesen Größen ver-  
schiedene Werte zusammengefaßt sind. Bedingt durch die je-  
weils verwendete Optik empfängt das Spektralmeßgerät eine  
Strahlung nur aus einem bestimmten Winkelbereich (d.h. dem  
Gesichtsfeld bzw. dem Raumwinkel). Außerdem ist die Emp-  
35 findlichkeit des Spektrometers an den Rändern seines Ge-  
sichtsfeldes kleiner als im Zentrum. Alle drei Anteile der  
empfangenen Strahlung, nämlich vom Objekt, von der Umge-

1 bung und von der zusätzlichen Bestrahlung, erfahren bezüglich  
 2 lich Raumwinkel und Empfindlichkeit über das Gesichtsfeld  
 3 des Spektrometers dieselbe "Behandlung"; dies gilt für den  
 4 Anteil der zusätzlichen Bestrahlung nur dann, wenn die  
 5 vorstehende Empfehlung bezüglich einer vollständigen Aus-  
 6 leuchtung der vom Spektrometergesichtsfeld überdeckten  
 7 Fläche befolgt ist. Die zahlenmäßig Berücksichtigung von  
 8 Gesichtsfeldwinkel und seiner Empfindlichkeit kann daher  
 9 in der Größe  $r_1$  erfolgen, weshalb auch die Größe  $r_1$  als  
 10 die spektrale Empfindlichkeit des Spektralmeßgeräts be-  
 11 zeichnet wird; streng gilt dies natürlich nur für geo-  
 12 metrisch korrigiert werden muß. Darüber hinaus ist in der  
 13 Größe  $r_1$  der Einfluß aller optischen Komponenten des Meß-  
 14 geräts (wie Linsen, Spiegel, Strahlteiler, Detektor usw.)  
 15 sowie der Einfluß der Elektronik auf die Strahlung und das  
 elektrische Signal berücksichtigt.

Nunmehr soll der sogenannte Geometrie- und Korrekturfaktor  
 20  $\Omega_Q$  erläutert werden. Nachdem die Umgebungsstrahlung aus  
 dem gesamten Halbraum das Objekt bestrahlt, wobei das Ob-  
 21 jekt eine ebene Fläche sein soll, ist, nachdem im Unter-  
 22 schied hierzu die zusätzliche Bestrahlung nur aus einem  
 23 kleineren Winkelbereich, nämlich dem Raumwinkel der be-  
 24 strahlenden Optik, stammt, eine Korrekturgröße  $k_1$  einzu-  
 25 führen. Die Korrekturgröße  $k_1$  ist gegeben durch das Ver-  
 hältnis des Raumwinkels  $\Omega_B$  der bestrahlenden Optik zum  
 Raumwinkel des Halbraums, also durch:

$$30 \quad k_1 = \frac{\Omega_B}{2\pi} \quad (11)$$

(Streng müßte es heißen:

$$35 \quad k_1 = \frac{\Omega_B}{2\pi - \Omega_B} \quad (12)$$

weil die Strahlung der Umgebung nur aus dem Winkelbereich  
 $2\pi - \Omega_B$  auf das Objekt fällt, wobei allerdings meistens  
 $2\pi \gg \Omega_B$  sein wird.)

1 Ferner ist analog zur Empfindlichkeitsverteilung über das  
Gesichtsfeld des Spektralmeßgeräts die Intensität der Be-  
strahlung am Rande des Gesichtsfeldes der bestrahlenden  
Optik geringer als in dessen Zentrum; auch dieser Einfluß  
5 ist durch einen Korrekturfaktor  $k_2$  zu berücksichtigen,  
der eine Mitteilung der Intensität über das Gesichtsfeld  
bewirkt.

Darüber hinaus ist auch bei stets gesichtsfeldfüllendem  
10 Objekt für die reflektierten Anteile der zusätzlichen Be-  
strahlung der Raumwinkel  $\Omega_{RB}$ , unter dem das Objekt die  
Spektrometeroptik "sieht", abhängig von der Entfernung  
zwischen Objekt und Spektrometer. Dieser Einfluß muß durch  
eine dritte Korrekturgröße  $k_3$  berücksichtigt werden, näm-  
15 lich

$$k_3 = \Omega_{RB} = \frac{A_s}{d^2} \quad (13)$$

wobei  $A_s$  ( $\text{cm}^2$ ) die wirksame Fläche der Spektrometerapera-  
20 tur und  $d$  (cm) der Abstand vom Spektrometer zum Objekt ist.

Die genannten drei Korrekturgrößen sind zusammengefaßt in  
dem Geometrie- und Korrekturfaktor  $\Omega_Q$ .

25

$$\Omega_Q = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

$$= k_2 \cdot \frac{\Omega_B}{2\pi} \cdot \frac{A_s}{d^2} \quad (14)$$

30

mit  $0 < k_2 < 1$ .

Im folgenden sollen als Beispiele zwei Ausführungsformen  
35 dargestellt werden, und die jeweils notwendige Anzahl von  
Spektralbereichen und Strahlern soll hierbei abgeschätzt  
werden. In einem später folgenden, dritten Ausführungsbei-  
spiel sind Maßnahmen am optischen Aufbau eines entsprechen-



- 1 den Spektralmeß- und Bestrahlungsgeräts aufgezeigt, durch  
welches Meßsituationen mit einer geringen, reflektierten  
Energie bewältigt werden können. In einem vierten Ausführ-  
5 quellen Dioden in Form von lichtemittierenden Dioden (LED)  
bzw. in Form von Laserdioden sowie Laser verwendet.

Wie bereits erwähnt, gelten die vorstehend angeführten  
Gl.'en (7) bis (10) insbesondere für die in Fig.5 darge-  
10 stellte Ausführungsform vor allem für Messungen im Infra-  
roten. Hierbei sind die  $m$  Strahlungsquellen, vorzugsweise  
Schwarzkörper  $Q_1$  bis  $Q_m$ , wie ebenfalls erwähnt, in einem  
nicht näher dargestellten Spektrometergehäuse unterge-  
bracht, und die verwendete Optik, insbesondere in Form des  
15 Strahlteilers QST, dient sowohl zur Bestrahlung des Objek-  
tes  $Q$  als auch zum Strahlungsempfang. Hierbei wird am Ob-  
jekt  $O$  die Quellenstrahlung, d.h. die Strahlung jeder ge-  
genüber dem Strahlteiler QST angeordneten Strahlungsquelle  
( $Q_1$  bis  $Q_m$ ), zurück zum Teleskop  $T$  reflektiert und gelangt  
20 von dort zusammen mit der vom Objekt  $O$  emittierten Strah-  
lung und der an ihm reflektierten Umgebungsstrahlung wie-  
der zum Strahlteiler QST. Die ankommende Strahlung wird  
dort zur Hälfte in das Interferometer-Spektrometer IFS  
durchgelassen, während die andere Hälfte von dem Strahl-  
25 teiler QST in die jeweilige Strahlungsquelle reflektiert  
wird, wo sie absorbiert wird.

Die in Fig.5 schematisch dargestellte Ausführungsform hat,  
wie bereits erwähnt, den besonderen Vorteil, daß die  
30 Strahlungsquellen  $Q_1$  bis  $Q_m$  im Spektrometer selbst unter-  
gebracht sind, und über dessen Optik das Objekt bestrah-  
len. Hierbei muß allerdings in Kauf genommen werden, daß  
der Strahlteiler weniger Energie auf das Objekt und auf  
den Detektor überträgt, als z.B. die später beschriebene  
35 zweite Ausführungsform, und daß  $n$  weitere unbekannte Grö-  
ßen (falls diese nicht durch andere Messungen als bekannt  
eingeführt werden) zu bestimmen sind, nämlich

$$1 \quad n \times r_{QST_i} \cdot \Omega_Q$$

Für den Fall von Messungen im Infraroten ergeben sich mit diesem Ausführungsbeispiel aus den Gleichungen (7) bis (10) und den vorstehenden Erläuterungen  $(m+4n+2)$  Unbekannte; da  $(m+1) \cdot n$  Messungen vorliegen, ist somit die Beziehung zu erfüllen:

$$\begin{aligned} m + 4n + 2 &\leq (m+1) \cdot n \\ m + 3n + 2 &\leq m \cdot n \end{aligned} \quad (15)$$

10

was z.B. mit  $m = 4$ , also 4 Strahlungsquellen und  $n = 6$ , also 6 Spektralbereichen geschehen kann.

15

Dabei wird durch Herauskappen des Strahlteilers QST aus dem Strahlengang die entsprechende Messung ohne Bestrahlung erreicht, und es werden damit natürlich  $n \times r_i \cdot \tau_i$  zusätzliche Unbekannte im System berücksichtigt.

20

Diese Messung ohne zusätzliche Bestrahlung ist aber, wie schon erwähnt, gerade hier wenig sinnvoll und die folgende Abschätzung verdeutlicht dies mit Zahlen:

25

Werden nur Messungen mit zusätzlicher Bestrahlung durchgeführt, also  $m \cdot n$  Messungen, so ergeben sich aus den Gl'en (7) bis (10)  $(m+3n+2)$  Unbekannte. Wie zu erwarten, ist also wieder die Beziehung zu erfüllen:

$$m + 3n + 2 \leq m \cdot n \quad (15)$$

30

was mit 4 Strahlungsquellen in 6 Spektralbereichen, hier allerdings nur mit  $m$  statt mit  $(m+1)$  Messungen erreicht wird.

35

Günstiger werden die Verhältnisse, wenn durch Abschalten oder Abblenden der Strahlungsquellen (bei unverändertem Strahlengang) eine Messung ohne Bestrahlung gewonnen werden kann; zu erfüllen ist dann die Beziehung:

1

$$\begin{aligned} m + 3n + 2 &\leq (m+1) \cdot n \\ m + 2n + 2 &\leq m \cdot n \end{aligned} \quad (16)$$

5 was mit  $m = 3$ , d.h. 3 Strahlungsquellen und  $n = 5$ , d.h. 5 Spektralbereichen zu realisieren ist.

Sind bei der Ausführungsform nach Fig. 5 alle Geräteparameter außer den Temperaturen  $T_{Q_i}$  der zusätzlichen Strahler  
10 (z.B. durch eine Eichung) bekannt, so reduziert sich die Zahl der Unbekannten auf:

$$m \times T_{Q_i}; n \times \epsilon_i; 1 \times T_{Obj} \text{ und } 1 \times T_{Umg}$$

und es ist die Beziehung zu erfüllen:

$$\begin{aligned} 15 \quad m + n + 2 &\leq (m+1) \cdot n \\ m + 2 &\leq m \cdot n \end{aligned} \quad (17)$$

was mit  $m = 1$ , also einer zusätzlichen Strahlungsquelle, und  $n = 3$ , also 3 Spektralbereichen bereits geschehen ist.

20 In einem zweiten Ausführungsbeispiel soll die Bestrahlungsvorrichtung eine eigene Optik (Teleskop) haben; daher können Spektrometer und Bestrahlungseinheit als getrennte Geräte ausgeführt werden; allerdings können sie auch in einem Gerät zusammengefaßt werden. In jedem Falle ist es  
25 notwendig, die gesamte, vom Spektrometer erfaßte Fläche zu bestrahlen. Wegen des hier fehlenden Strahlteilers QST können in jedem Fall Messungen ohne Bestrahlung sinnvoll verwendet werden.

30 Im allgemeinen Fall sind dabei unbekannt:

$$m \times T_{Q_i}; n \times \epsilon_i; n \times r_i \cdot T_i; 1 \times T_{Obj}; 1 \times T_{Umg} \text{ und } 1 \times \Omega_{Q_i}.$$

Es ist also die Beziehung zu erfüllen:

$$\begin{aligned} 35 \quad m + 2n + 3 &\leq (m+1) \cdot n \\ m + n + 3 &\leq n \cdot m \end{aligned} \quad (18)$$

was mit  $m = 2$ , also 2 Strahlungsquellen und  $n = 5$ , also 5 Spektralbereichen zu realisieren ist.

- 1 Wird auch hier eine Eichung durchgeführt und der Faktor  $\Omega_Q$   
als bekannt eingeführt, so gelten dieselben Beziehungen  
wie im vorhergehenden Beispiel; das Gleichungssystem wird  
also bestimmt mit einer zusätzlichen Strahlungsquelle und  
5  $n = 3$  Spektralbereichen.

Im folgenden sollen Beispiele von Energieabschätzungen für  
ein Gerät entsprechend Fig. 5 Aufschluß über notwendige  
Stahlertemperaturen bzw. zu erwartende Strahlungsflüsse  
10 geben. Dabei ist die Größe  $k_3$  aus Gl. (7) zu

$$k_3 = \Omega_{RB} = \frac{A_S}{d^2} = 1 \quad (19)$$

angenommen; das gilt für das folgende Beispiel nur bei  
15 einem Abstand  $d$  zwischen Objekt und Spektrometerteleskop  
von etwa 4 bis 5 cm. Eine Verdopplung dieses Abstandes  
führt zu einer Verringerung der reflektierten Energie zu-  
sätzlicher Bestrahlung auf  $1/4$ .

- 20 Das Teleskop des Geräts soll einen Primärspiegel von  $DP =$   
5 cm Durchmesser haben und einen Sekundärspiegel von  $DS =$   
1 cm, die Brennweite ist  $BW = 10$  cm. Die wirksame Apertur  $A_S$   
des Spektrometerteleskops ergibt sich dann zu:

$$25 \quad A_S = \frac{1}{4} \pi (DP^2 - DS^2) \text{ [cm}^2\text{]} \quad (20)$$

$$A_S = 18,85 \text{ cm}^2$$

- Soll der Gesichtsfeldwinkel  $\alpha_S = 5^\circ$ , also der Raumwinkel  
 $\Omega_S = 0,598 \cdot 10^{-2} \text{ sr}$  betragen, so ergibt sich die notwendige  
30 Detektor- bzw. Strahlerfläche (DF bzw. SF) aus:

$$\Omega_S = \frac{SF}{BW^2} \text{ [sr]} \quad (21)$$

zu  $SF = 0,598 \text{ cm}^2$ , womit der Durchmesser  $SD$  des Strahlers  
 $SD = 0,873 \text{ cm}$  wird.

- 35 Mit dem Gerät soll die Temperatur  $T_{Obj}$  eines Objektes be-  
stimmt werden, dessen Emissionsgrad  $\epsilon_{Obj} = 0,2$  (Refle-

1 xionsgrad  $\rho_{Obj} = 0,8$ ) betrage, und das sich in einer Umgebung der Temperatur  $T_{Umg} = 300$  K befinde, wobei das Objekt die Temperatur  $T_{Obj} = 360$  K habe.

5 Bei einer Wellenlänge von  $8,5\mu m$  ergibt sich dann die Strahldichte  $L_{Obj}$  des Objektes zu:

$$L_{Obj} = (0,2 \cdot 0,246 \cdot 10^{-2} + 0,8 \cdot 0,955 \cdot 10^{-3}) \text{ W/sr.cm}^2 \cdot \mu m$$

10 
$$L_{Obj} = (0,492 \cdot 10^{-2} + 0,764 \cdot 10^{-3}) \text{ W/sr.cm}^2 \cdot \mu m$$
  

$$= 5,684 \cdot 10^{-3} \text{ W/sr.cm}^2 \cdot \mu m$$

Der von diesem Objekt in das genannte Meßgerät eintretende Strahlungsfluß  $P_{Obj}$  ergibt sich aus:

15 
$$P_{Obj} = L_{Obj} \cdot A_S \cdot \Omega_S \quad [\text{W}/\mu m] \quad (22)$$

zu

$$P_{Obj} = 64,07 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu m.$$

20 Hat der zur Bestrahlung verwendete Schwarzkörper  $Q_1$  die Temperatur  $T_{Q1} = 600$  K, so ist seine Strahldichte  $L_{Q1}$  bei  $8,5 \mu m$ :

$$L_{Q1} = 0,17 \cdot 10^{-1} \text{ W/sr.cm}^2 \cdot \mu m.$$

25 Der über die Optik austretende Strahlungsfluß  $P_{Q1}$  berechnet sich aus:

$$P_{Q1} = r_{QST} \cdot L_{Q1} \cdot SF \cdot \Omega_S \quad (23)$$

30 mit  $r_{QST} = 0,5$  zu  $P_{Q1} = 3,04 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu m.$

Unter der Voraussetzung, daß die am Objekt reflektierte Strahlung wieder vollständig von der Optik aufgenommen wird, ergibt sich der Strahlungsfluß dieses reflektierten Anteils aus:

35 
$$P_{RQ1} = P_{Q1} \cdot \rho_{Obj} \quad \text{zu} \quad (24)$$

$$P_{RQ1} = 2,432 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu m,$$

1 das sind etwa 3,7% des gesamten Strahlungsflusses, der in  
das Gerät eintritt. Der Anteil der reflektierten Strahlung  
der Umgebung beträgt 12,95% am Gesamtfluß. Führt man obige  
Abschätzung für die Wellenlänge 4,0  $\mu\text{m}$  bei sonst identi-  
5 schen Parametern durch, so ergeben sich:

$$P_{\text{Obj}} = 18,51 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m}$$

$$P_{\text{Q1}} = 5,26 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m}$$

$$P_{\text{RQ1}} = 4,20 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m}$$

10 und der Anteil der reflektierten Strahlung macht etwa  
18,5% des gesamten Strahlungsflusses aus; der Anteil der  
reflektierten Umgebungsstrahlung beträgt 28,6%.

Diese Abschätzung führt für eine Quellentemperatur  $T_{\text{Q2}} =$   
15 700 K bei sonst unveränderten Parametern zu folgenden Grö-  
ßen;

für eine Wellenlänge von 8,5  $\mu\text{m}$

$$P_{\text{Obj}} = 64,07 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m}$$

$$20 \quad P_{\text{RQ2}} = 3,76 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m} \approx 5,54 \%$$

beträgt der Anteil reflektierter Umgebungsstrahlung  
12,76%;

für eine Wellenlänge von 4,0  $\mu\text{m}$  :

$$25 \quad P_{\text{Obj}} = 18,51 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m}$$

$$P_{\text{RQ2}} = 9,94 \cdot 10^{-5} \text{ W}/\mu\text{m} \approx 34,94 \%$$

beträgt der Anteil reflektierter Umgebungsstrahlung  
22,87%.

30

Die aufgeführten Beispiele zeigen, daß die Anteile der  
verschiedenen Strahlungsquellen (Objekt, Umgebung, Quel-  
len Q1 bis Qm) am gesamten Strahlungsfluß vergleichbare  
Größen haben, und daß die Quellen Q1 bis Qm auch bei nicht  
35 zu hohen Temperaturen  $T_{\text{Q1}}$  bis  $T_{\text{Qm}}$  ausreichende Energie  
liefern; natürlich ist für den jeweiligen Anwendungsfall  
eine vergleichende Auswahl geeigneter Wellenlängenberei-  
che durchzuführen.

- 1 Aus obigen Energiebetrachtungen ist unmittelbar ersicht-  
lich, daß der Emissionsgrad (Reflexionsgrad) des betrach-  
teten Objektes von großem Einfluß auf die Wirksamkeit des  
durchzuführenden Verfahrens ist. Mit abnehmendem Reflexi-  
5 onsgrad wird der Anteil reflektierter Quellenstrahlung zu-  
nehmend geringer und verschwindet irgendwann im Rauschen.  
Die Forderung nach einer ausreichenden Intensität reflek-  
tierter Quellenstrahlung kann entweder durch die Erhöhung  
der Intensität der Quelle selbst (beispielsweise durch  
10 eine höhere Temperatur) oder durch eine andere Bestrah-  
lungsgeometrie (und Meßgeometrie) erfüllt werden, indem  
die Bestrahlungs- und Meßoptik auf das Objekt fokussiert  
wird. Damit wird einerseits die Energiedichte der Bestrah-  
lung erhöht und andererseits ein kleineres Flächenelement  
15 (wählbarer Größe) des Objektes "gesehen" und somit weniger  
Objektstrahlung und reflektierte Umgebungsstrahlung emp-  
fangen. Ein Gerät läßt sich sowohl mit einer festen als  
auch mit einer variablen Brennweite ausbilden.
- 20 Fig.6 zeigt schematisch einen Strahlengang vor der Optik  
einer fokussierbaren Ausführungsform. Hieraus ist er-  
sichtlich, daß der Betrag der reflektierten Quellenenergie  
weitgehend unabhängig vom Abstand zwischen einem Objekt O  
und dem Meßgerät (Spektrometer) ist, solange dieser Ab-  
25 stand nicht größer als eine Brennweite BF ist, während der  
Betrag der empfangenen Objektstrahlung der reflektierten  
Umgebungsstrahlung in jedem Fall entfernungsabhängig ist.
- Zur Überwindung der Schwierigkeiten aufgrund geringer re-  
30 flektierter Energien eignen sich zur Bestrahlung darüber  
hinaus besonders entsprechende Laser bzw. Laserdioden und  
auch lichtemittierende Dioden (LED's), da sie in einem  
schmalen Spektralbereich mit hoher Energie strahlen. In  
bekannter Weise sind sie im Pulsbetrieb verwendbar, was  
35 der Forderung nach kurzzeitiger Bestrahlung zur Vermei-  
dung einer Aufheizung des Objektes entgegenkommt. Die Ver-  
wendung von Laser, Laserdioden und auch LED's ist beson-

- 1 ders geeignet für einen Aufbau der Vorrichtung nach  
Fig.5, bei welcher die Bestrahlung und Messung mit einer  
gemeinsamen Optik erfolgt und somit eine vergleichsweise  
einfache Realisierung ermöglicht. (Die Verwendung von  
5 Schwarzkörpern hoher Temperaturen erfordert einen großen  
Aufwand an thermischer Isolierung). Außerdem ermöglicht  
bei Lasern, Laserdioden, und auch LED's deren verhältnis-  
mäßig geringer Bedarf an elektrischer Energie die Ausbil-  
dung tragbarer Geräte.
- 10 Einige Besonderheiten bei der Verwendung von LED's, Laser-  
dioden und Laser sollen im folgenden erläutert werden.  
Während LED's Strahlung einer festen Wellenlänge emittie-  
ren, sind bei Laserdioden und Lasern auch Bauarten mit  
15 einer einstellbaren bzw. durchstimbaren Wellenlänge er-  
hältlich. Werden solche Quellen mit fester Wellenlänge  
verwendet, wird für jede Wellenlänge eine Diode bzw. ein  
Laser benötigt; es werden also insgesamt  $n$  Laser oder Di-  
oden  $Q_1$  bis  $Q_n$  in Fig 7 benötigt, deren Aufbau im Übrigen  
20 dem der Fig.5 entspricht.
- Bei Verwendung nur einer durchstimbaren Quelle kann eine  
große Anzahl von  $n$  verschiedenen Wellenlängen zur Messung  
verwendet werden, insbesondere wenn das Spektrometer ein  
25 kontinuierlich messendes Fourierspektrometer ist, bei-  
spielsweise ein Interferometer, wie es in Fig.7 darge-  
stellt ist. Wenn der durchstimbare Wellenlängenbereich  
nicht groß genug ist, müssen zwei oder mehr durchstimm-  
bare Quellen verwendet werden.
- 30 Laser und Laserdioden emittieren eine Strahlung in einem  
räumlich eng begrenzten Bündel; die Bestrahlung des Ob-  
jektes sollte jedoch über die ganze, vom Gesichtsfeld des  
Spektrometers überdeckte Fläche erfolgen. (Sie sollte  
35 nicht punktförmig wie bei einer unbeeinflussten Laserstrah-  
lung sein). Kommerzielle Strahlaufweiter, die vor die  
Quellen  $Q_1$  bis  $Q_n$  in Fig.7 gesetzt sind, sorgen für den  
gewünschten Durchmesser der Strahlenbündel; in vielen



1 Füllen dürften, wie in Fig.7 dargestellt, jeweils einfache Diffusoren DL1 bis DLn beispielsweise in Form von starken Folien aus Teflon (eingetragenes Warenzeichen) genügen, um die Bündel aufzuweiten.

5

Im allgemeinen wird die optische Bandbreite (der Wellenlängenbereich) der Laser bzw. Dioden schmaler sein als die der Messung und damit als der jeweilige Wellenlängenbereich des Spektrometers. Werden die Wellenlängenbereiche  
10 des Spektrometers so ausgelegt, daß die Bestrahlungswellenlängen jeweils etwa in der Mitte der Meßbereiche liegen, so kann für beide in der Regel derselbe Reflexionsgrad des Objektes angenommen werden, da der mittlere Reflexionsgrad des Objektes in einem relativ breiten Meßbereich etwa gleich dem Reflexionsgrad in der Mitte des  
15 Bereichs ist.

Zu beachten ist, daß auf LED's, Laserdioden und Laser das Planck'sche Strahlungsgesetz nach den Gl'en (7), (8) oder  
20 (9) nicht anwendbar ist, d.h. daß im Term  $r_{QST_i} \cdot \Omega_Q \cdot L_{TQ, \lambda_i}$  die Größe  $L_{TQ, \lambda_i}$  nicht nach Planck berechnet werden kann; vielmehr muß hier eine gemessene oder eine aus früherer Eichung bekannte Strahlungsintensität der jeweiligen Quelle  
25 (bei der entsprechenden Wellenlänge) eingegeben werden. Ihre Messung kann bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 7 derart erfolgen, daß über eine Mechanik anstelle des Strahlteilers QST ein gestrichelt wiedergegebener Umlenkspiegel USP in den Strahlengang eingebracht wird, in der  
30 Weise, daß er die Strahlung der Quellen Q1 bis Qn direkt in das Spektrometer lenkt. Werden die so gemessenen Strahlungsintensitäten mit  $I_{L, \lambda_i}$  bezeichnet, so ist leicht einzusehen, daß anstelle der Größe  $L_{TQ, \lambda_i}$  in den Gl'en (7), (8) oder (9) die Größe

35

$$I_{L, \lambda_i} \cdot \frac{1}{r_i}$$

stehen muß.

- 1 Die Änderungen der Strahlungsintensitäten zur Erlangung  
 von  $m$  verschiedenen Bestrahlungsstärken bei den  $n$  Be-  
 strahlungswellenlängen kann durch definierte Strahlungs-  
 dämpfungselemente, wie beispielsweise Graufilter oder  
 5 Graukeile GF in Fig.7 erreicht werden, die zweckmäßiger-  
 weise mit Strahlaufweitern, beispielsweise in Form von  
 Diffusoren DL1 bis DL $n$ , kombiniert werden. Der Dämpfungs-  
 faktor wird dabei jeweils über die Messung der Größen  
 $I_L, \lambda_1$  als bekannt in das Gleichungssystem eingeführt.
- 10 Sind in dem Ausführungsbeispiel nach Fig.7 alle Gerätekomp-  
 onenten (beispielsweise durch eine Eichung) bekannt, dann  
 sind, da die Größen  $I_L, \lambda_1$  gemessen werden, nur noch  
 $n \times \varepsilon_1, T_0$  und  $T_u$  unbekannt; demgegenüber stehen  $(m+1) \cdot n$   
 15 Meßwerte. Somit ist also die folgende Bedingung zu erfül-  
 len:

$$n + 2 \leq (m+1) \cdot n$$

$$2 \leq m \cdot n \quad (24)$$

- 20 mit  $m = 1$ , d.h. einem Betrieb mit  $n$  Laserquellen oder Dio-  
 den, bzw. mit einer durchstimmbaren Quelle bei den  $n$  Wel-  
 lenlängen mit nur einer Intensität (ohne eine Veränderung  
 der Dämpfung) ergibt sich schon bei  $n = 2$  Wellenlängen ein  
 bestimmtes Gleichungssystem. Hierbei sei noch einmal be-  
 25 tont, daß die Gewinnung und Verarbeitung überbestimmter  
 Gleichungssysteme (durch die Anwendung der Ausgleichsrech-  
 nung) zu besonders genauen Ergebnissen führt. Für ein nach  
 Fig.5 ausgebildetes Gerät mit den obigen Randbedingungen  
 (Gl.(24)) ist beispielsweise der Freiheitsgrad  $F$  (oder die  
 30 Zahl der Überbestimmt vorliegenden Messungen):

$$F = (m+1) n - (n+2)$$

$$= n - 2 \quad (20)$$

- Grundsätzlich sind alle bekannten und auch in der Zukunft  
 zu erwartenden Laser bzw. Dioden für diese Anwendungen ge-  
 35 eignet bzw. werden es sein; hierfür seien als Beispiele  
 genannt:  
 durchstimbare Bleisalzlaserdioden im Bereich von  $3\mu\text{m}$  bis  
 $30\mu\text{m}$

- 1 Wellenlänge mit Stimmbereichen von  $20\text{cm}^{-1}$  bis  $300\text{cm}^{-1}$  für  
unterschiedliche Typen;  
durchstimbare  $\text{Co}_2$  Laser im Bereich  $9\mu\text{m}$  bis  $11\mu\text{m}$ ,  
durchstimbare Kryptonlaser im Bereich  $0,33\mu\text{m}$  bis  $0,799\mu\text{m}$ ,  
5 durchstimbare Farbstofflaser im Bereich von  $0,19\mu\text{m}$  bis  
 $5\mu\text{m}$ .

(In allen Anwendungsfällen sollen selbstverständlich die  
optischen Achsen von Empfang und Bestrahlung senkrecht auf  
dem Objekt stehen.)

10

Mit der Erfindung können also bei unveränderten Größen von  
Objekt und Umgebung Meßdaten für ein bestimmtes bzw. Über-  
bestimmtes Gleichungssystem gewonnen werden. Ein besonde-  
rer Vorteil der Vorrichtungen gemäß der Erfindung ist dar-  
15 in zu sehen, daß mit ihnen ein sich ändernder spektraler  
Emissionsgrad des Objektes auch bei konstanter Objekttem-  
peratur bestimmt werden kann, oder aber insbesondere auch  
bei sich ändernder Objekttemperatur eine eventuell vorlie-  
gende Temperaturabhängigkeit des Emissionsgrades, d.h.  
20 auch eine Änderung des Emissionsgrades, erfaßt wird. Ins-  
besondere können durch die Verwendung von Dioden oder La-  
sern mit geringem Aufwand tragbare Geräte ausgebildet wer-  
den.

25

30

35

Anwaltsakte: DFO-1406

Deutsche Forschungs- und Versuchsan-  
stalt für Luft- und Raumfahrt e.V.

Rechtssitz: D-5300 Bonn 1

Postanschrift: D-5000 Köln 90  
Linder Höhe

1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur berührungslosen, emissionsgradunabhängigen  
5 Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes, bei wel-  
chem Verfahren in  $n$  Wellenlängenbereichen (Spektralbändern)  
im Sichtbaren und/oder Infraroten und bei  $m$  Temperaturen des  
Objektes nacheinander Strahldichten oder -stärken erfaßt  
werden, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß  
10 aus einer Reihe von jeweils mindestens  $n = 4$  Strahldichten  
oder -stärken aus den Messungen von mindestens  $m = 3$  ver-  
schiedenen Temperaturen des Objekts ( $O$ ) ein Gleichungssystem  
von  $n \cdot m = 12$  Unbekannten und  $n \cdot m = 12$  Meßwerten gebildet  
wird;  
15 durch das Gleichungssystem die Meßwerte mit Hilfe des  
Planck'schen Strahlungsgesetzes jeweils als Summe der Strahl-  
dichte (-stärke) eines Strahlers mit der Temperatur und dem  
spektralen Emissionsgrad ( $\epsilon_i$ ) des Objektes und der Strahl-  
dichte (-stärke) eines Strahlers (von Umgebungseinflüssen)  
20 mit der Temperatur der Umgebung, die am Objekt mit einem  
spektralen Reflexionsgrad des Objektes ( $\rho_i = 1 - \epsilon_i$ )  
(eins minus spektralen Emissionsgrad) reflektiert  
wird, bei den jeweils  $n$  Meßwellenlängen ( $\lambda_i$ ) dargestellt  
werden, wobei die Summe noch mit einem Produkt ( $r_i \cdot \tau_i$ ) aus  
25 der spektralen Empfindlichkeit ( $r_i$ ) des Meßobjektes und

1 dem Transmissionsgrad ( $\tau_i$ ) der Atmosphäre multipliziert  
wird, welches Produkt auch bei den jeweils  $n$  Meßwellen-  
längen ( $\lambda_i$  mit  $i = 4, \dots, n$ ;) ermittelt werden, und die  
bei der Lösung des Gleichungssystems gefundenen  $m$  Objekttem-  
5 peraturen als die wahren  $m$  Objekttemperaturen ermittelt  
wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß der bei der Lösung des Gleichungssystems gefun-  
10 dene, spektrale Emissionsgrad des Objektes ( $n$  Werte des spek-  
tralen Emissionsgrades bei den  $n$  Wellenlängen eines Meßgerä-  
tes) als der wahre spektrale Emissionsgrad des Objektes (0)  
ermittelt wird.

15 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß die bei der Lösung des Gleichungssystems gefunde-  
ne(n) Umgebungstemperatur (Umgebungstemperaturen - bei ther-  
misch inhomogener Umgebung) als die wahre(n) Umgebungstempe-  
ratur (Umgebungstemperaturen bei thermisch inhomogener Umge-  
20 bung) ermittelt wird (werden).

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß die bei der Lösung des Gleichungssystems gefunde-  
ne(n) Temperatur des Meßgeräts (Temperaturen der inneren  
25 Oberfläche des Meßgeräts) als die wahre(n) Temperatur (Tem-  
peraturen der inneren Oberflächen des Meßgeräts ermittelt  
wird (werden)).

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
30 n e t, daß das bei der Lösung gefundene Produkt ( $r_i \cdot \tau_i$ ) aus  
der spektralen Empfindlichkeit ( $r_i$ ) des Meßgeräts und dem  
spektralen Transmissionsgrad ( $\tau_i$ ) der Atmosphäre ( $n$  Werte  
bei den  $n$  Wellenlängen des Meßgeräts) als das wahre Produkt  
( $r_i \cdot \tau_i$ ) aus der spektralen Empfindlichkeit ( $r_i$ ) des Meßge-  
räts und dem spektralen Transmissionsgrad ( $\tau_i$ ) der Atmo-  
35 sphäre ermittelt wird.

1 6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß alle aus dem Gleichungssystem ermittelten Größen,  
nämlich m Objekttemperaturen, die Umgebungstemperatur (Umge-  
5 re Temperatur des Meßgeräts, n Werte des spektralen Emissions-  
grades des Objektes und n Werte des Produktes  $r_i \cdot \tau_i$  aus der  
spektralen Empfindlichkeit  $r_i$  des Meßgerätes und dem spektra-  
len Transmissionsgrad  $\tau_i$  der Atmosphäre ausschließlich durch  
Lösung des Gleichungssystems rechnerisch aus den Meßwerten  
10 ermittelt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß bei entsprechend großer Wahl von n Spektralberei-  
chen und/oder m Objekttemperaturen die Anzahl n.m der  
15 voneinander unabhängigen Meßwerte zunehmend größer ist als  
die Zahl der unbekannten Größen, daß damit ein überbestimm-  
tes Gleichungssystem gebildet wird, und dieses Gleichungssy-  
stem mit Hilfe der Ausgleichsrechnung gelöst wird, und daß  
dadurch Meßungenauigkeiten ausgeglichen werden, wodurch die  
20 ermittelten Werte der unbekannten Größen genauer werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß andere als die bisher genannten, unbekannten, zu  
bestimmenden Größen, beispielsweise mehrere Umgebungstempe-  
25 raturen bei thermisch inhomogener Umgebung, die von der At-  
mosphäre emittierte Strahlung, oder der spektrale Transmis-  
sionsgrad des Objektes, falls dieses strahlungsdurchlässig  
ist, oder mehrere Objekttemperaturen gleichzeitig oder  
nacheinander bei thermisch inhomogenen Objekten oder das  
30 Objekt und/oder die Umgebung betreffende Geometriefaktoren,  
generell alle Faktoren, die die vom Objekt ausgehende Strah-  
lung, ihren Weg zum Meßgerät und im Meßgerät bis zum endgül-  
tigen Meßwert in irgendeiner Weise beeinflussen, in das Glei-  
chungssystem eingeführt werden,  
35 entsprechend der so gegebenen Anzahl von Unbekannten durch  
entsprechende Wahl von n Spektralbereichen und m Objekt-  
temperaturen ein System von entsprechend vielen n.m Meßwer-  
ten erfaßt wird, und

- 1 das damit erstellte Gleichungssystem gelöst oder ausgleichend gelöst wird und dabei alle Unbekannten bestimmt oder ausgleichend bestimmt werden.
- 5 9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt, dessen Temperatur bestimmt werden soll, aufgrund seiner Funktion und Beschaffenheit verschiedene Temperaturen annimmt, oder aber durch irgendeine Art von Heizung erzwungen verschiedene Temperaturen annimmt.
- 10 10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren in entsprechender Weise angewandt wird, wenn die Objekttemperatur unverändert ist, die Umgebungstemperatur von selbst oder erzwungen verschiedene Werte annimmt.
- 15 11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren in entsprechender Weise angewandt wird, wenn eine beliebige Anzahl von beliebigen Unbekannten eine Anzahl von  $k$  verschiedenen Werten annimmt und dabei gleichzeitig eine Anzahl  $l$  von Meßwerten gewonnen wird, mit der Bedingung, daß  $l \geq k$  ist, und daß dabei alle Unbekannten bestimmt oder ausgleichend bestimmt werden.
- 20 12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für wiederholte Messungen alle aus vorhergehenden Meßgängen ermittelten Größen, welche als unveränderlich anzusehen sind (wie beispielsweise das Produkt  $r_i \cdot T_i$ ), als bekannte Größen in das Gleichungssystem aufgenommen werden, und daß dabei aus einer verringerten Anzahl von Meßwerten (beispielsweise einer Messung bei nur einer ( $m = 1$ ) Objekttemperatur) die verbleibenden unbekannten Größen bestimmt oder ausgleichend bestimmt werden.
- 30 13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer entsprechend großen Anzahl von  $m$  (verschiedenen Temperaturen des Objekts oder auch der

1 Umgebung, etc.) und von  $n$  Spektralbereichen (Wellenlängen-  
bereichen) des Meßgerätes nur die Meßwerte selbst bekannt  
sein müssen, und daß alle unbekannten Größen, auch die Spek-  
tralbereiche (Wellenlängenbereiche) des Meßgeräts berechnet  
5 oder ausgleichend berechnet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch  
gekennzeichnet, daß zur Strahlungsmessung ein  
Interferometerspektrometer (IFS) verwendet wird,  
10 dabei die Anzahl  $n$  der spektralen Bereiche (Meßwerte) sehr  
hoch wählbar ist,  
die spektralen Meßwerte alle dieselbe spektrale Breite (in  
 $[cm^{-1}]$ , also Wellenzahlen) haben, und  
daher die Rechnungen in Wellenzahlen  $[cm^{-1}]$  oder Wellenlän-  
15 gen  $[μm]$  durchgeführt werden (d.h. eine Korrektur unter-  
schiedlicher spektraler Breiten der Meßbereiche entfällt).

15. Verfahren zur berührungslosen, emissionsgradunabhängi-  
gen Strahlungsmessung der Temperatur eines Objektes, bei  
20 welchem Verfahren in  $n$  Wellenlängenbereichen (Spektral-  
bändern) im Ultravioletten, Sichtbaren und/oder Infraroten  
nacheinander Strahldichten oder -stärken erfaßt werden,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung  
einer Anzahl von  $m$  ( $m \geq 1$ ) Strahlungsquellen ( $Q_1$  bis  
25  $Q_m$ ) nacheinander über eine Optik (QST, T) auf das Objekt  
(O) gelenkt wird, daß die davon jeweils am Objekt (O)  
reflektierte Strahlung gemeinsam mit der vom Objekt (O)  
emittierten Strahlung und der am Objekt (O) reflektierten  
Umgebungsstrahlung in  $n$  Spektralbereichen ( $n \geq 3$ ) erfaßt  
30 wird, und daß damit ein Gleichungssystem von  $n \cdot (m + 1)$   
Meßwerten, wobei ein Satz von Meßwerten ohne zusätzliche  
Bestrahlung gewonnen wird, gebildet wird, in welchem die  
Meßwerte mit Hilfe des Planck'schen Strahlungsgesetzes als  
35 Summe der Strahldichte -(stärke) eines Strahlers mit der



1 Temperatur und dem spektralen Emissionsgrad ( $\varepsilon_i$ ) des Objektes (O), der Strahldichte (-stärke) eines Strahlers mit der Temperatur der Umgebung und der Strahldichte (-stärke) eines weiteren Strahlers mit der Temperatur (Intensität)  
5 der jeweiligen zur Bestrahlung des Objektes (O) verwendeten Strahlungsquelle (Q1 bis Qm) dargestellt werden, wobei die beiden letzteren Strahldichten (-stärken) am Objekt (O) mit dem spektralen Reflexionsgrad ( $\rho_i = 1 - \varepsilon_i$ ) reflektiert werden, und aus diesem Gleichungssystem die Temperatur des  
10 Objektes (O), die Temperatur der Umgebung und die Temperatur der einen oder der Strahlungsquellen (Q1 bis Qm) sowie die Werte des spektralen Emissionsgrades des Objektes (O) als deren wahre Werte ermittelt werden.

15 16.Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei entsprechend großer Wahl der Anzahl von Spektralbereichen und der Anzahl der zusätzlichen Strahlungsquellen (Q1 bis Qm) weitere Größen aus dem Gleichungssystem als die jeweils wahren Größen errechnet werden können, wie beispielsweise die die besondere Bestrahlungsgeometrie kennzeichnenden Größen oder die spektrale Empfindlichkeit ( $r_i$ ) des Meßgeräts, oder auch das Produkt ( $r_i \cdot \tau_i$ ) aus der spektralen Empfindlichkeit ( $r_i$ ) des Meßgeräts und dem Transmissionsgrad ( $\tau_i$ ) der Atmosphäre  
20 oder andere, so daß hierdurch eine selbstkalibrierende Messung ermöglicht ist.

17.Verfahren nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß bei entsprechend großer  
30 Wahl von n Spektralbereichen und/oder m Strahlungsquellen (Q1 bis Qm) die Anzahl n . m der voneinander unabhängigen Meßwerte zunehmend größer ist als die Zahl der unbekannten Größen, daß damit ein Überbestimmtes Gleichungssystem gebildet wird, daß dieses Gleichungssystem mit Hilfe der  
35 Ausgleichsrechnung gelöst wird, und daß dadurch Meßungenauigkeiten ausgeglichen werden, wodurch die ermittelten Werte der unbekannten Größen genauer werden.

1 18.Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem  
der Ansprüche 15 bis 17, mit einem Teleskop, mit  
einem Spektralmeßgerät, das über eine Taktlogik einen Ana-  
log-Digital-Wandler speist, dem ein Mikrorechner mit Be-  
5 fehlseingabe und -anzeige nachgeschaltet ist, dadurch  
g e k e n n z e i c h n e t, daß im Spektralmeßgerät (IFS)  
die  $m$  ( $m \geq 1$ ) Strahlungsquellen (Q1 bis Qm) angeordnet  
sind, und daß zwischen Teleskop (T) und Spektralmeßgerät  
(IFS) ein Strahlteiler (QST) vorgesehen ist, über welchen  
10 nacheinander jeweils die Strahlung einer der  $m$  Strahlungs-  
quellen (Q1 bis Qm) über das Teleskop (T) auf das Objekt  
(O) gelenkt wird.

19.Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch g e k e n n -  
15 z e i c h n e t, daß zur Bestrahlung in allen Wellenlängen-  
bereichen als Strahlungsquellen Laser, Laserdioden oder  
lichtemittierende Dioden (LED's) (Q1 bis Qn) vorgesehen  
sind, so daß, falls diese Strahler mit festen Wellenlän-  
gen emittieren, eine Anzahl  $n$  (entsprechend den  $n$  Wellen-  
20 längenbereichen der Messung) dieser Laser, Laserdioden  
oder lichtemittierenden Dioden notwendig ist.

20.Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t, daß zur Bestrahlung in allen Wellenlän-  
25 genbereichen als Strahlungsquelle(n) ein durchstimmbarer  
Laser oder eine durchstimmbare Laserdiode oder weniger als  
 $n$  bezüglich ihrer Wellenlängen durchstimmbare Laser vorge-  
sehen sind.

30 21.Vorrichtung nach den Ansprüchen 18 bis 20, dadurch g e -  
k e n n z e i c h n e t, daß zum Erreichen einer homogenen  
Beleuchtung des Objektes (O) jeweils ein jeder Strahlungs-  
quelle (Laser, Laserdiode oder LED (Q1 bis Qn)) zugeordne-  
ter Strahlaufweiter (DL1 bis DLn) vorgesehen ist, und daß  
35 die Anzahl ( $m > 1$ ) unterschiedlicher Intensitäten der Be-  
strahlung durch die Verwendung von Strahlungsdämpfungsele-  
menten (GF) ermöglicht ist, wobei die jeweilige Intensität

- 1 der zusätzlichen Bestrahlung beispielsweise über einen  
Umlenkspiegel (USP) direkt vom Spektrometer (IFS) gemessen  
wird und diese gemessenen Intensitäten in das Gleichungs-  
system (als bekannt) eingeführt werden.

5

10

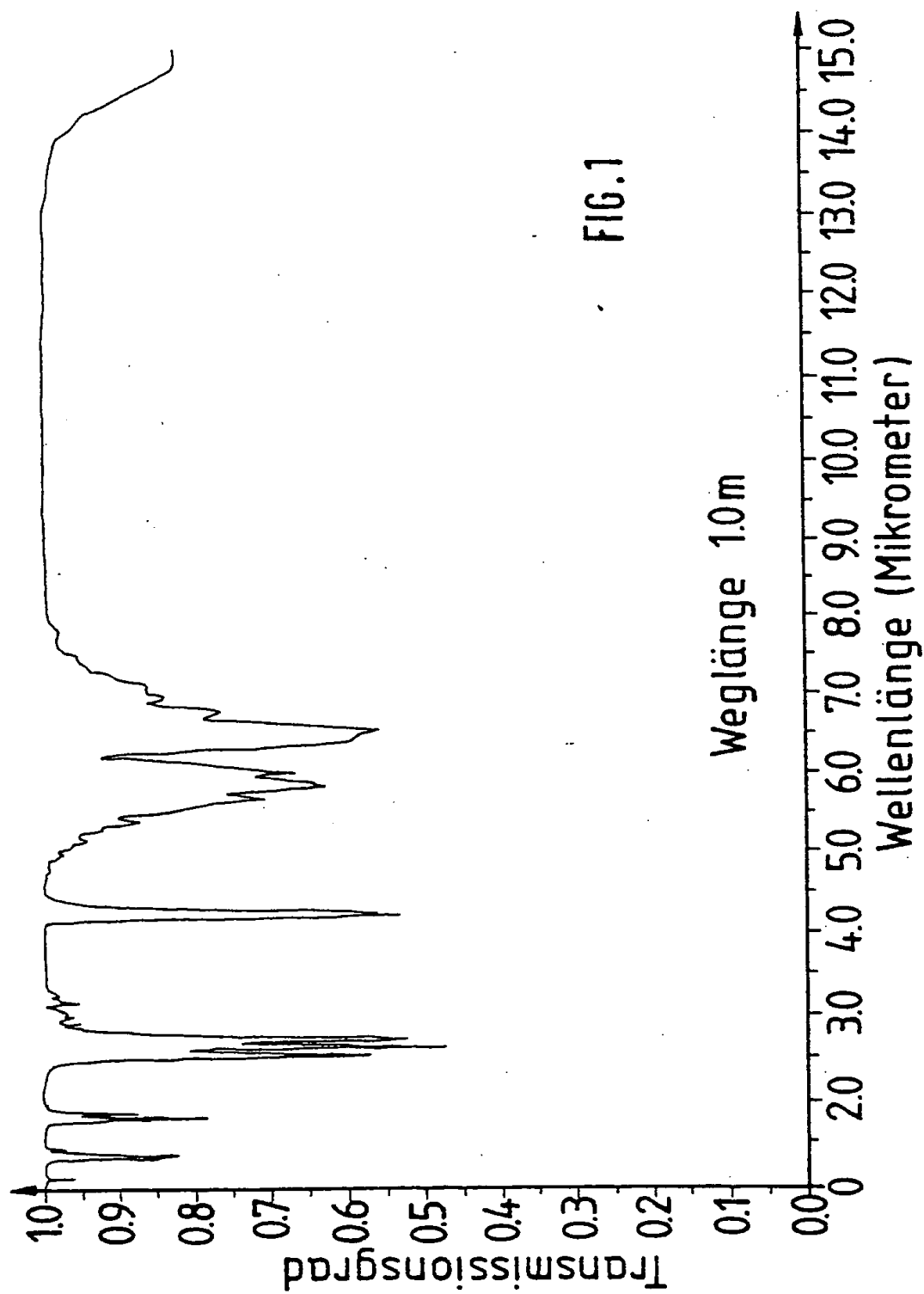
15

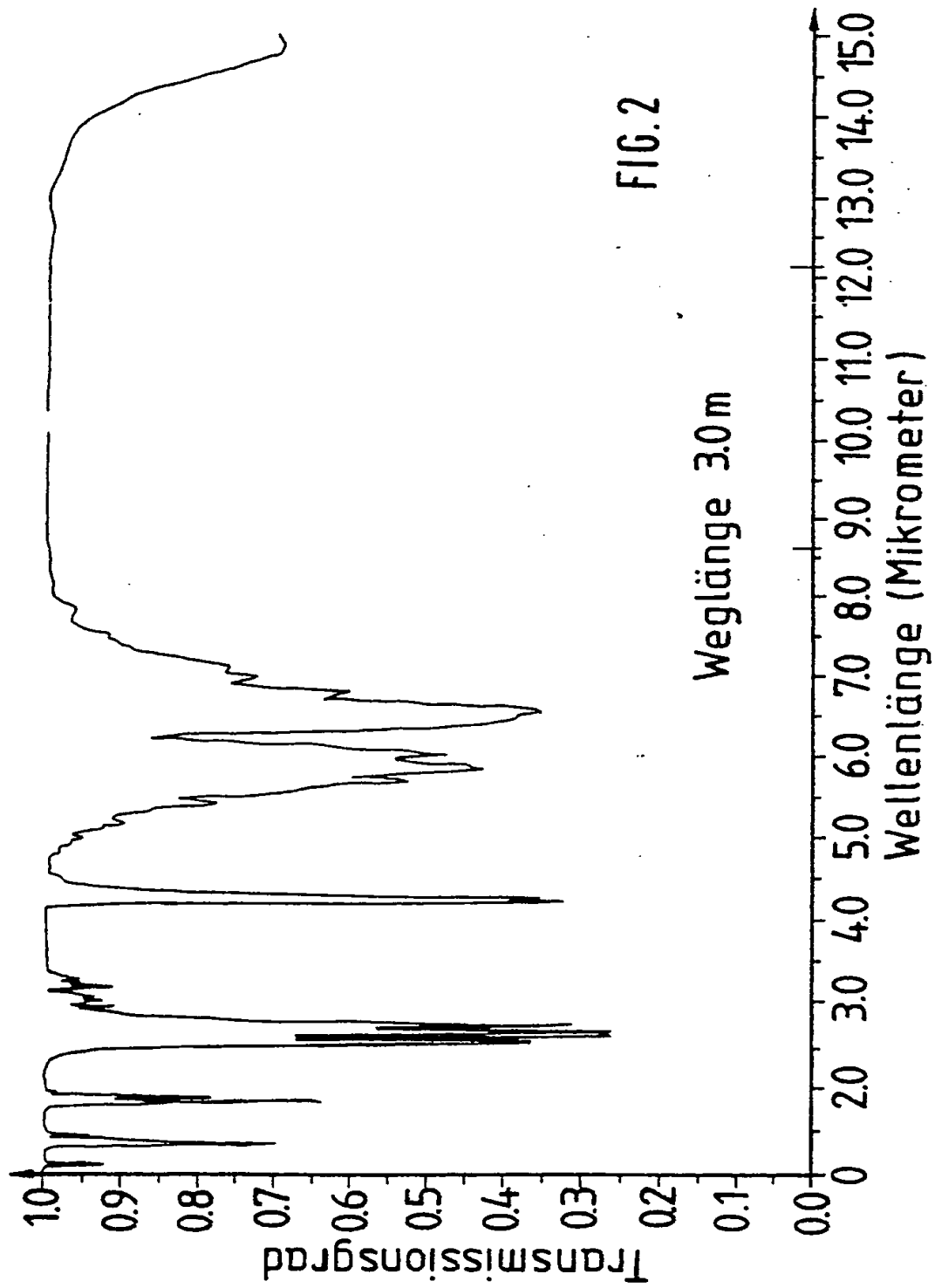
20

25

30

35





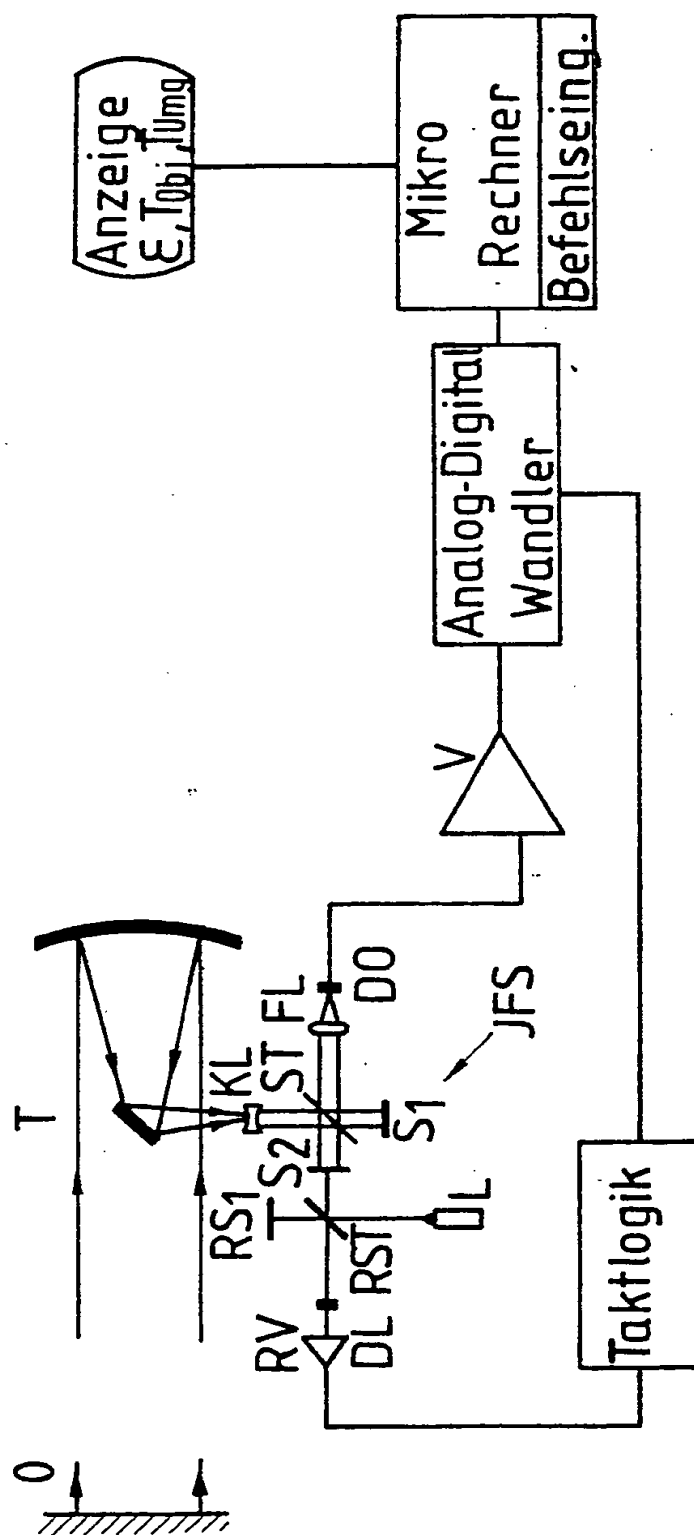


FIG. 3

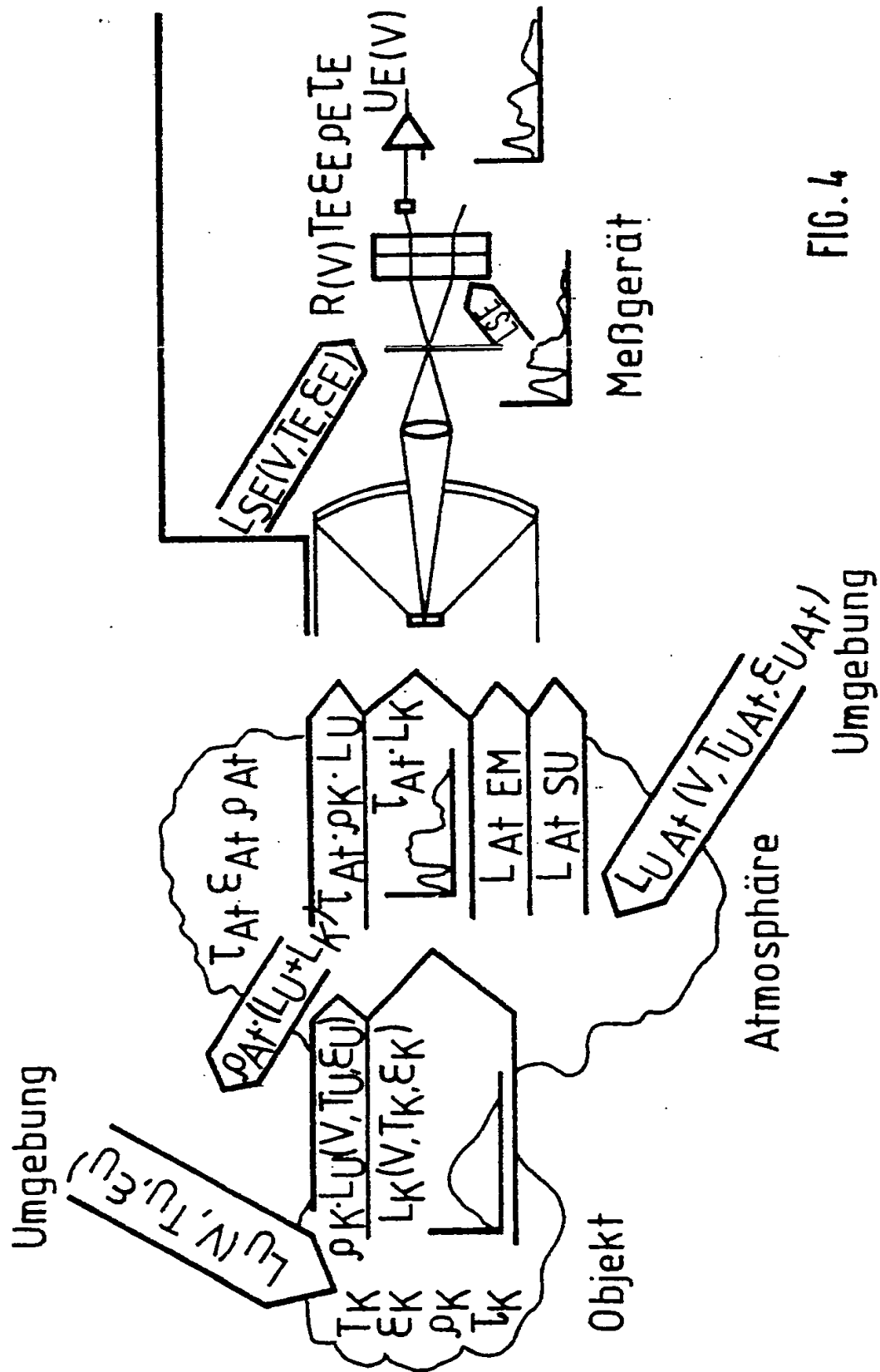


FIG. 4

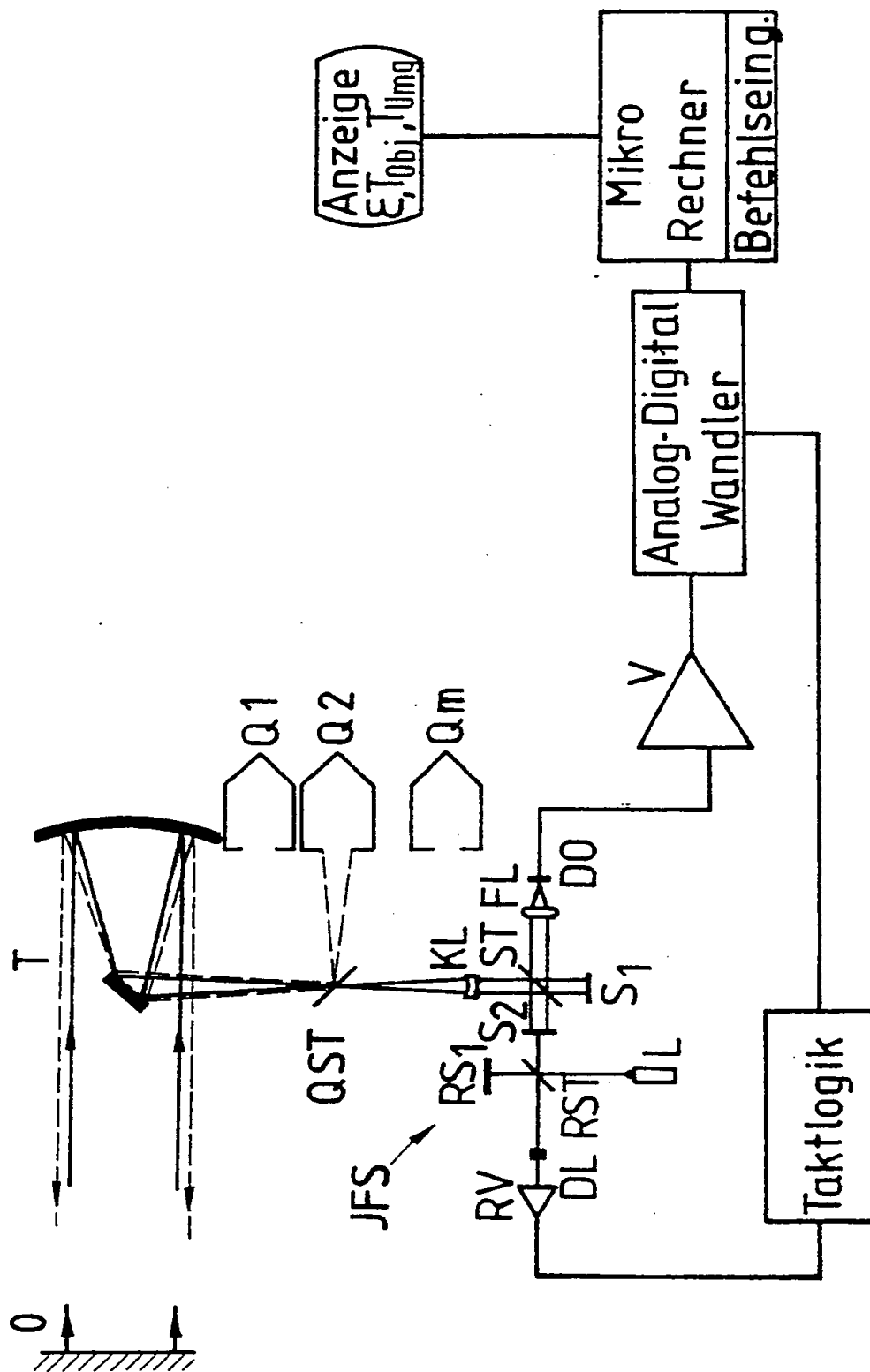


FIG. 5



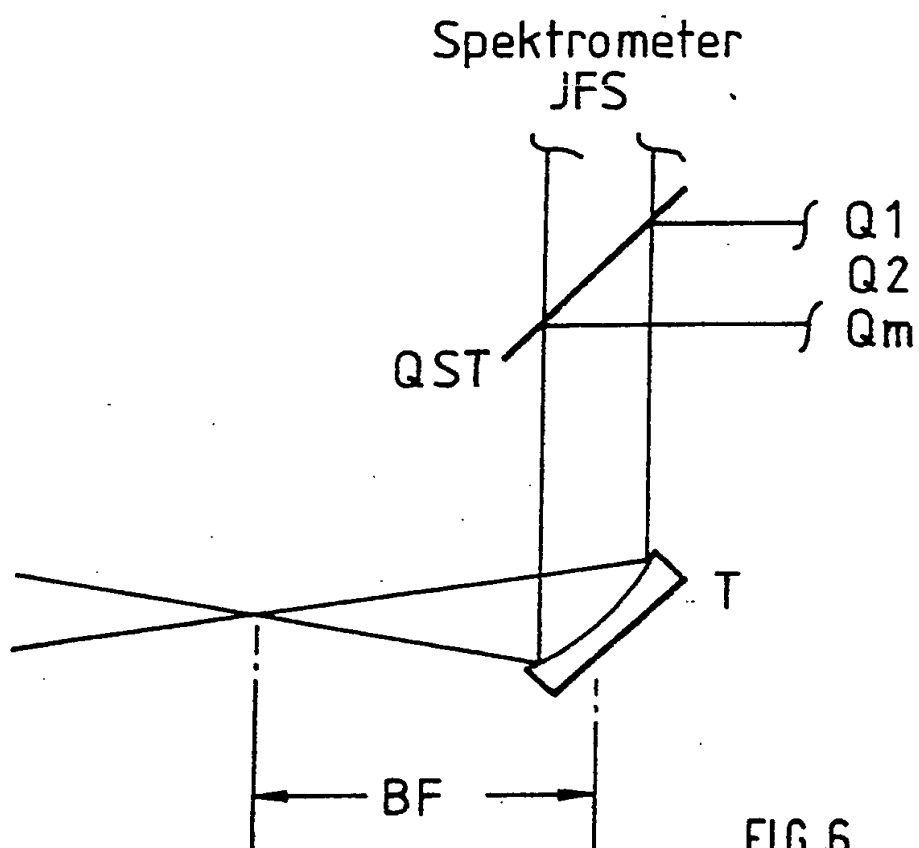


FIG.6

